

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000196169 A

(43) Date of publication of application: 14.07.00

(51) Int. Cl.

H01S 3/10

H01S 3/06

H04B 10/17

H04B 10/16

H04B 10/14

H04B 10/06

H04B 10/04

(21) Application number: 2000033016

(22) Date of filing: 01.05.97

(30) Priority: 02.05.96 JP 08111447

(62) Division of application: 09113882

(71) Applicant: FUJITSU LTD

(72) Inventor: SUGAYA YASUSHI
KINOSHITA SUSUMU

(54) OPTICALLY AMPLIFYING DEVICE

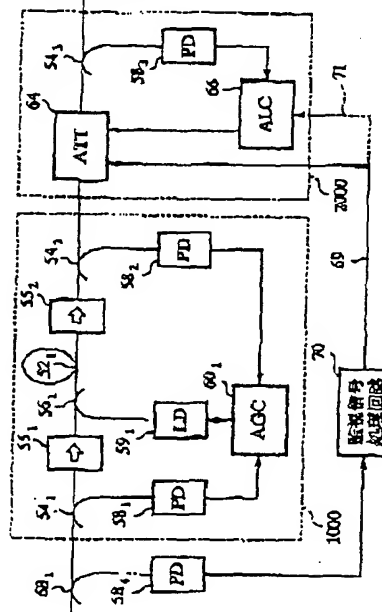
(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optically amplifying device used for a wavelength division multiplex optical transmission system which multiplexes and transmits optical signals of various wavelengths, where the optical amplifying device can be restrained from deteriorating in nonlinear characteristics and an S/N ratio due to a change in number of channels.

SOLUTION: An optically amplifying device is equipped with a first part 1000 which comprises a rare earth doped optical fiber 521, an exciting laser diode (LD) 591, and an automatic optical gain control circuit (AGC) 601, a second part 2000 which comprises an optical attenuator (ATT) 64 and an automatic level control circuit (ALC) 66, and a monitor signal processing circuit 70. The optically amplifying device is so controlled to amplify and output wavelength division multiplex optical signals at a level corresponding to the number of channels before channels are changed in number and when a change in number of channels is noticed, the optical attenuator 64 is temporarily kept constant in light transmittivity, and the optical amplifying device is so controlled as to keep its gain constant and output light signal at a level corresponding to the number of channels. When the change in the number of channels is finished, the

optically amplifying device is so controlled as to keep its gain constant at a level corresponding to the number of channels starting to control the light transmittivity of the optical attenuator 64.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-196169

(P2000-196169A)

(43) 公開日 平成12年7月14日 (2000.7.14)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

シマート (参考)

H 0 1 S 3/10

H 0 1 S 3/10

Z

3/06

3/06

B

H 0 4 B 10/17

H 0 4 B 9/00

J

10/16

S

10/14

審査請求 有 請求項の数21 O L (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-33016 (P2000-33016)

(62) 分割の表示 特願平9-113882の分割

(22) 出願日 平成9年5月1日 (1997.5.1)

(31) 優先権主張番号 特願平8-111447

(32) 優先日 平成8年5月2日 (1996.5.2)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号

(72) 発明者 菅谷 靖

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 木下 進

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番
1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100105337

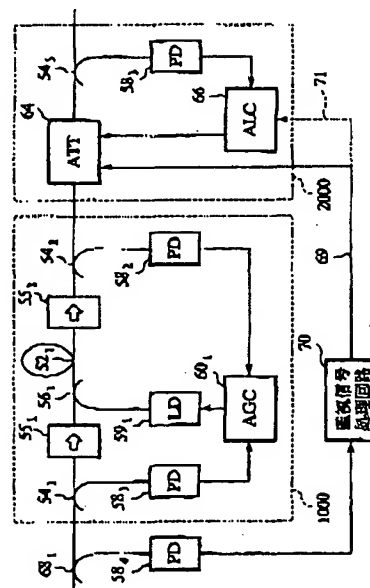
弁理士 眞鍋 泰 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光増幅装置

(57) 【要約】

【課題】 複数波長の光信号を多重化して伝送する波長多重光伝送システムの光増幅装置に関し、チャネル数の変更による非線形特性の劣化やS/Nの劣化を抑制可能とする。

【解決手段】 希土類ドープ光ファイバー52₁と励起レーザーダイオード (LD) 59₁と自動光利得制御回路 (AGC) 60₁とを含む第一の部分1000と、光減衰器 (ATT) 64と自動レベル制御回路 (ALC) 66とを含む第二の部分2000と、監視信号処理回路70とを含む光増幅装置に於いて、チャネル数変更前は、チャネル数に対応したレベルの波長多重光信号を増幅出力するように制御し、チャネル数変更の通告時に、光減衰器64の光透過率等を一時的に固定し、利得一定としてチャネル数に対応した出力光信号レベルとし、チャネル数変更完了時に、光減衰器64の光透過率の制御開始等によるチャネル数対応のレベル一定制御とする。



(2)

特開2000-196169

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 可変チャンネル数の波長多重光信号を増幅する光増幅器と、

前記光信号のチャンネル数の変化に対応して増幅された光信号のパワーレベルを制御する制御装置とを含む構成を有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項2】 前記制御装置は、光信号のチャンネル数を変更する前後に於いて、光透過率を変化させて、増幅した光信号を通過させることにより、該光信号のパワーレベルをチャンネル数に応じた所定のほぼ一定レベルに維持させ、前記光信号のチャンネル数を変更された時は、増幅した光信号を一定の光透過率で通過させて、該光信号のパワーレベルを制御する構成を有することを特徴とする請求項1記載の光増幅装置。

【請求項3】 前記制御装置は、光信号のチャンネル数を変更する前後に於いて、該光信号のチャンネル数に対応して増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持し、前記チャンネル数を変更された時は、増幅された光信号をほぼ一定の利得で増幅する構成を有することを特徴とする請求項1記載の光増幅装置。

【請求項4】 第1の入力端から入力された光信号を増幅して第1の出力端から第1の光信号を出力する第1の光増幅部と、

第2の入力端から入力された前記第1の光信号を増幅して第2の出力端から出力する第2の光増幅部と、

前記第1の光増幅部の前記第1の出力端と前記第2の光増幅部の前記第2の入力端との間に光学的に結合され、

前記第1の光増幅部からの前記第1の光信号を前記第2の光増幅部の第2の入力端に入力する光デバイスと、

該光デバイスで処理されて前記第1の光信号に与えられた損失を補償する補償手段とを備えたことを特徴とする光増幅装置。

【請求項5】 前記光デバイスは、前記第1の光信号に与えられた分散を補償する分散補償用の光ファイバーであることを特徴とする請求項4記載の光増幅装置。

【請求項6】 第1の入力端から入力された光信号を増幅して第1の出力端から第1の光信号を出力する第1の光増幅部と、

第2の入力端から入力された前記第1の光信号を増幅して第2の出力端から出力する第2の光増幅部と、

前記第1の光増幅部の前記第1の出力端と前記第2の光増幅部の前記第2の入力端との間に光学的に結合され、

前記第1の光増幅部からの前記第1の光信号の分散を補償して、前記第2の光増幅部の前記第2の入力端に入力する分散補償手段と、

該分散補償手段により前記第1の光信号に与えられた損失を補償する補償手段とを備えたことを特徴とする光増幅装置。

【請求項7】 前記補償手段は、前記第2の光増幅部の前記第2の入力端に入力される前記第1の光信号が所定

レベルとなるように減衰量が制御される光可変減衰手段であることを特徴とする請求項4又は5又は6記載の光増幅装置。

【請求項8】 第1の入力端から入力された光信号を増幅し、光アイソレータを介して第1の出力端から第1の光信号を出力する第1の光増幅部と、

第2の入力端に前記光アイソレータを介して入力された前記第1の光信号を増幅して第2の出力端から第2の光信号を出力する第2の光増幅部と、

10 前記第1の光増幅部の前記第1の出力端と前記第2の光増幅部の前記第2の入力端との間に光学的に結合され、

前記第1の光増幅部からの前記第1の光信号を処理して、前記第2の光増幅部の前記第2の入力端に入力する光デバイスとを備えたことを特徴とする光増幅装置。

【請求項9】 前記光デバイスは、前記第1の光信号に与えられる損失を補償する構成を備えたことを特徴とする請求項8記載の光増幅装置。

【請求項10】 可変チャンネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、

20 前記光信号のチャンネル数の変更に対応して増幅された光信号を制御する制御装置と、

制御され且つ増幅された光信号をチャンネル対応の個々の光信号に分離するデマルチプレクサーと、

それぞれ前記個々の光信号のパワーレベルを制御して、該個々の光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットとを含む構成を有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項11】 光信号のパワーレベルをほぼ一定に保ち、対応する出力光信号を生成する自動レベル制御ユニットと、

30 該自動レベル制御ユニットの出力光信号を一定の利得で増幅する光ファイバー増幅器とを含む構成を有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項12】 可変チャンネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、

光信号のチャンネル数を変更する前後に於いては、光信号のチャンネル数に応じて増幅した光信号のパワーレベルを

ほぼ一定のレベルに維持し、光信号のチャンネル数を変更された時に、増幅した光信号をほぼ一定の利得で増幅する

40 ように制御する制御装置とを含む構成を有することを特徴とする光増幅装置。

【請求項13】 前記制御装置は、増幅した光信号を通過させ且つ可変光透過率を有する光減衰器及び前記光信号のチャンネル数を変更する前後に於いて前記光減衰器の光透過率を変化させて前記光信号のチャンネル数に応じて該光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを含む構成を有することを特徴とする請求項12記載の光増幅装置。

【請求項14】 前記自動レベル制御ユニットは、前記光信号のチャンネル数を変更された時に、前記光減衰器の

50

(3)

特開2000-196169

3

4

光透過率を一定に維持する構成を有することを特徴とする請求項13記載の光増幅装置。

【請求項15】 前記制御装置は、増幅した光信号を更に増幅する光増幅器、及び前記光信号のチャネル数を変更する前後に於いて光増幅器の利得を変化させ、前記光信号のチャネル数に応じて該光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを含む構成を有することを特徴とする請求項12記載の光増幅装置。

【請求項16】 前記制御装置は、前記光信号のチャネル数が何時変更されるかを示す通告信号を受信し、前記光信号をほぼ一定の利得で増幅し始め、前記チャネル数の変更が完了するまで、ほぼ一定の利得で継続して前記光信号を増幅する構成を有することを特徴とする請求項12記載の光増幅装置。

【請求項17】 前記通告信号が前記光信号に含まれ、前記制御装置は、前記光信号から前記通告信号を抽出する構成を有することを特徴とする請求項16記載の光増幅装置。

【請求項18】 前記制御装置は、前記光信号のチャネル数が変更された時に、前記光信号を所定の時間だけほぼ一定の利得で増幅し、所定の時間が経過した後に、増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持し始める構成を有することを特徴とする請求項12記載の光増幅装置。

【請求項19】 前記制御装置は、光信号のチャネル数の変更が何時完了するかを示す完了信号を受信する構成を有することを特徴とする請求項12記載の光増幅装置。

【請求項20】 前記制御装置は、光信号のチャネル数が変更された後に、前記光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持し始めた後に、完了信号を下流方向に送出して、チャネル数の変更による制御動作の完了を通知する構成を有することを特徴とする請求項12記載の光増幅装置。

【請求項21】 可変チャネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、増幅した光信号を通過させ、可変光透過率を有する光減衰器と、

光信号のチャネル数が変更される前は、前記光減衰器の光透過率を変化させて、増幅した光信号のパワーレベルをチャネル数が変更される前の光信号のチャネル数に応じたほぼ一定のレベルに維持し、光信号のチャネル数が変更された時は、前記光減衰器の光透過率を一定に維持し、光信号のチャネル数が変更された後では、前記光減衰器の光透過率を変化させて、増幅した光信号のパワーレベルをチャネル数が変更された後の光信号のチャネル数に応じたほぼ一定のレベルに維持する制御装置とを含む構成を有することを特徴とする光増幅装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、複数の波長の光信号を多重化して伝送する波長多重光伝送システムに適用する光増幅装置に関する。エルビウム (Er) 等の希土類をドープした光ファイバーを用いて、光信号を直接増幅する光ファイバー増幅器が知られている。又大容量伝送を行う為に、複数の波長の光信号を多重化して伝送する波長多重光伝送システムも知られている。このような波長多重光伝送システムに於いて、希土類ドープ光ファイバー増幅器を適用する場合、光信号の波長が単一でないことによる問題点や、チャネル数 (波長数) に対応して入力される光パワーが変動する問題点等を解決することが必要となる。

【0002】

【従来の技術】 波長多重光伝送システムに於ける送信装置及び中継装置に適用される光増幅装置は、希土類をドープした光ファイバー増幅器を用いる場合が一般的であり、複数の波長の光信号を合波した波長多重光信号と励起レーザーダイオードからの励起光とを光ファイバー増幅器に入力し、その出力光の一部をホトダイオードにより検出して励起光パワーを制御し、増幅出力光が所定値となるように増幅利得を制御する光利得一定制御手段を設けた構成が知られている。

【0003】 又この光ファイバー増幅器の出力波長多重光信号を光可変減衰器に入力し、その出力光を検出して光減衰量を制御し、波長多重光信号レベルを所定値の範囲とする光出力一定制御手段を設けることも知られている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 光ファイバー増幅器は、波長依存性を有することから、波長多重光信号を増幅する場合、以下のような問題点がある。

- ①. チャネル数の変化。
- ②. 分散補償光ファイバー等の挿入損失。
- ③. 高出力レベルの光出力一定制御。

しかし、このような問題点①～③については、前述の従来の光ファイバー増幅器に対しては何ら配慮されていないものである。

【0005】 即ち、①のチャネル数の変化の問題点として、チャネル数は、波長対応のチャネル数の使用、未使用により増減するものであり、波長多重光信号の受信側に於ける所望のS/Nを確保する為に、波長対応に所定の増幅光出力パワーPが必要である。例えば、チャネル数をnとすると、光ファイバー増幅器の全光出力P₀は、 $n \times P$ になるように制御される。この場合、チャネル数nに、 $+\alpha$ 又は $-\alpha$ の変動が生じると、即ち、チャネル数の増減があると、全光出力を、 $(n \pm \alpha) P$ となるように制御することになる。この切替過程に於いて波長対応の光パワーの変動が生じるから、非線形劣化やS/N劣化が生じる問題がある。

【0006】 又②の分散補償光ファイバー等の挿入損失

(4)

特開2000-196169

5

について、例えば、長距離大容量の光伝送システムに於いては、伝送光ファイバーの分散を補償する為に、光ファイバー増幅器と共に中継装置に分散補償光ファイバーを設けるものである。その場合、分散補償光ファイバーの挿入損失があり、その損失のばらつきが、光ファイバー増幅器を含む中継装置の光出力レベルのばらつきとなる問題がある。

【0007】又③の高出力レベルの光出力一定制御について、光ファイバー増幅器による増幅光出力レベルが所定範囲を超えるようなことがあっても、光可変減衰器により光出力を一定に維持するものであるが、この光可変減衰器による減衰量を予め考慮して光ファイバー増幅器により余分に増幅しておく必要がある。その場合、入力光信号のレベル変動に対して、光利得一定制御を行う為の励起用レーザーダイオードの出力パワーをほぼ指数関数的に制御する必要がある。そのために、比較的大容量の励起用レーザーダイオードを設けて、指数関数的な制御に対応できるように構成する必要がある、大容量のレーザーダイオードは高価であるから、経済的な問題がある。本発明は、チャネル数に変化した場合、波長多重光信号の非線形特性の劣化やS/Nの劣化を抑制可能とした光増幅装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明の光増幅装置は、

(1) 可変チャネル数の波長多重光信号を増幅する光増幅器と、光信号のチャネル数の変化に対応して増幅された光信号のパワーレベルを制御する制御装置とを含む構成とする。この制御装置は、光信号のチャネル数を変更する前後に於いて、光透過率を変化させて、増幅した光信号を通過させることにより、光信号のパワーレベルをチャネル数に応じた所定のほぼ一定レベルに維持させ、光信号のチャネル数が変更された時は、増幅した光信号を一定の光透過率で通過させて、光信号のパワーレベルを制御する構成とすることができる。又この制御装置は、光信号のチャネル数を変更する前後に於いて、光信号のチャネル数に対応して増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持し、チャネル数が変更された時は、増幅された光信号をほぼ一定の利得で増幅する構成とすることができる。

【0009】又(2) 第1の入力端から入力された光信号を増幅して第1の出力端から第1の光信号を出力する第1の光増幅部と、第2の入力端から入力された前記第1の光信号を増幅して第2の出力端から出力する第2の光増幅部と、第1の光増幅部の前記第1の出力端と第2の光増幅部の前記第2の入力端との間に光学的に結合され、前記第1の光増幅部からの前記第1の光信号を前記第2の光増幅部の第2の入力端に入力する光デバイスと、この光デバイスで処理されて前記第1の光信号に与えられた損失を補償する補償手段とを備えている。この光デバイス、前記第1の光信号に与えられた分散を

6

補償する分散補償用の光ファイバーとすることができ

る。
【0010】又(3) 第1の入力端から入力された光信号を増幅して第1の出力端から第1の光信号を出力する第1の光増幅部と、第2の入力端から入力された前記第1の光信号を増幅して第2の出力端から出力する第2の光増幅部と、前記第1の光増幅部の前記第1の出力端と前記第2の光増幅部の前記第2の入力端との間に光学的に結合され、前記第1の光増幅部からの前記第1の光信号の分散を補償して、前記第2の光増幅部の前記第2の入力端に入力する分散補償手段と、この分散補償手段により前記第1の光信号に与えられた損失を補償する補償手段とを備えている。この補償手段は、前記第2の光増幅部の前記第2の入力端に入力される前記第1の光信号が所定レベルとなるように減衰量が制御される光可変減衰手段とすることができる。

【0011】又(4) 第1の入力端から入力された光信号を増幅し、光アイソレータを介して第1の出力端から第1の光信号を出力する第1の光増幅部と、第2の入力端に前記光アイソレータを介して入力された前記第1の光信号を増幅して第2の出力端から第2の光信号を出力する第2の光増幅部と、前記第1の光増幅部の前記第1の出力端と前記第2の光増幅部の前記第2の入力端との間に光学的に結合され、前記第1の光増幅部からの前記第1の光信号を処理して、前記第2の光増幅部の前記第2の入力端に入力する光デバイスとを備えている。この光デバイスは、前記第1の光信号に与えられる損失を補償する構成を備えることができる。

【0012】又(5) 可変チャネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、前記光信号のチャネル数の変更に対応して増幅された光信号を制御する制御装置と、制御され且つ増幅された光信号をチャネル対応の個々の光信号に分離するデマルチプレクサーと、それぞれ前記個々の光信号のパワーレベルを制御して、該個々の光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットとを含む構成を備えている。

【0013】又(6) 光信号のパワーレベルをほぼ一定に保ち、対応する出力光信号を生成する自動レベル制御ユニットと、この自動レベル制御ユニットの出力光信号を一定の利得で増幅する光ファイバー増幅器とを備えている。

【0014】又(7) 可変チャネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、光信号のチャネル数を変更する前後に於いては、光信号のチャネル数に応じて増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持し、光信号のチャネル数が変更された時に、増幅した光信号をほぼ一定の利得で増幅するように制御する制御装置とを含む構成を備えている。又制御装置は、増幅した光信号を通過させ且つ可変光透過率を有する光減衰器及び前記光信号のチャネル数を変更する前後に於いて前記光減衰器

(5)

特開2000-196169

8

7

の光透過率を変化させて前記光信号のチャンネル数に応じて該光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを含む構成とすることができる。又自動レベル制御ユニットは、前記光信号のチャンネル数を変更された時に、前記光減衰器の光透過率を一定に維持する構成とすることができる。又前記制御装置は、増幅した光信号を更に増幅する光増幅器、及び前記光信号のチャンネル数を変更する前後に於いて光増幅器の利得を変化させ、前記光信号のチャンネル数に応じて該光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを含む構成とすることができる。

【0015】又前記制御装置は、前記光信号のチャンネル数が何時変更されるかを示す通告信号を受信し、前記光信号をほぼ一定の利得で増幅し始め、前記チャンネル数の変更が完了するまで、ほぼ一定の利得で継続して前記光信号を増幅する構成とすることができる。又前記通告信号が前記光信号に含まれ、前記制御装置は、前記光信号から前記通告信号を抽出する構成とすることができる。又前記制御装置は、前記光信号のチャンネル数を変更された時に、前記光信号を所定の時間だけほぼ一定の利得で増幅し、所定の時間が経過した後に、増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持し始める構成とすることができる。又前記制御装置は、光信号のチャンネル数の変更が何時完了するかを示す完了信号を受信する構成とすることができる。又前記制御装置は、光信号のチャンネル数を変更された後に、前記光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持し始めた後に、完了信号を下流方向に送出して、チャンネル数の変更による制御動作の完了を通知する構成とすることができる。

【0016】又(8)可変チャンネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、増幅した光信号を通過させ、可変光透過率を有する光減衰器と、光信号のチャンネル数を変更される前は、前記光減衰器の光透過率を変化させて、増幅した光信号のパワーレベルをチャンネル数を変更される前の光信号のチャンネル数に応じたほぼ一定のレベルに維持し、光信号のチャンネル数を変更された時は、前記光減衰器の光透過率を一定に維持し、光信号のチャンネル数を変更された後では、前記光減衰器の光透過率を変化させて、増幅した光信号のパワーレベルをチャンネル数を変更された後の光信号のチャンネル数に応じたほぼ一定のレベルに維持する制御装置とを含む構成を備えている。

【0017】

【発明の実施の形態】図1は波長多重光伝送システムの説明図であり、波長多重光伝送システムの送信側と受信側との概要を示し、例えば、一本の光ファイバーにより4チャンネル分を多重化して送信している。送信ユニット20-1~20-4により、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の個々の光キャリアーは、情報により変調されて送信されるもので、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ は個々のチャンネルを表している。異なる波長の光信号は光多重化装置22により多重化され

て波長多重光信号になる。この波長多重光信号は、光ファイバー24により光多重分離装置(光デマルチプレクサー)26に伝送される。この光多重分離装置26は波長多重光信号を分離して、波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ をそれぞれ有する4個の光信号となり、それぞれの受信ユニット28-1~28-4に入力される。

【0018】上記の波長多重光伝送システムでは4個のキャリアーを多重化しているが、1個以上のキャリアーを多重化することも通常的に行われている。更に多くの異なるキャリアーを一度に多重化することも出来る。この方法に於いては、相対的に大量のデータを光ファイバーを用いて送信することが出来る。

【0019】図2は波長多重光伝送システムの光増幅装置の説明図であり、光増幅装置は、第一の部分1000(ここでは、「希土類をドープした光ファイバー増幅器部」と称する)及び第二の部分2000(ここでは、「電気的に制御される光装置部」と称する)を含んでいる。第一の部分1000は、希土類をドープした光ファイバー(EDF)34、光分岐カプラー36₁、36₂、光アイソレータ38₁、38₂、ホトダイオード(PD)40₁、40₂、光波長多重化カプラー42、励起レーザーダイオード(LD)44及び自動光利得制御回路(AGC)46を含んでいる。

【0020】第二の部分2000は、光分岐カプラー36₃、電気的に制御される可変光減衰器(ATT)48、ホトダイオード(PD)40₃、及び自動レベル制御回路(ALC)50を含んでいる。例えば、可変光減衰器48は、光磁気材料により構成される。しかし、種々の異なるタイプの可変光減衰器が使用可能である。

【0021】波長多重光信号は光分岐カプラー36₁、光アイソレータ38及び光波長多重化カプラー42を通して希土類をドープした光ファイバー34に送られる。励起光ビームは光波長多重化カプラー42を通じて励起レーザーダイオード44から希土類をドープした光ファイバー34に送出される。波長多重光信号は希土類をドープした光ファイバー34により増幅されて、光アイソレータ38₂及び光分岐カプラー36₂を通して可変光減衰器48に入力される。

【0022】光分岐カプラー36₁により分岐された波長多重光信号は、ホトダイオード40₁により電気信号に変換され、自動光利得制御回路46に入力される。光分岐カプラー36₂により分岐された増幅出力波長多重光信号の一部はホトダイオード40₂により電気信号に変換されて、自動光利得制御回路46に入力される。励起レーザーダイオード44は入力波長多重光信号のレベルと増幅出力波長多重光信号のレベル間の比を所定のレベルに維持するように制御される。

【0023】更に詳しくは、光利得制御回路46は、励起レーザーダイオード44を制御して、ホトダイオード40₁により電気信号に変換された入力波長多重光信号

9

のレベルと、ホトダイオード402により電気信号に変換された増幅出力波長多重光信号のレベル間の比を一定に維持する。このようにして、第一の部分1000は光利得を一定に制御することにより波長依存性を維持している。光分岐カプラー363により分岐された出力波長多重光信号の一部は自動レベル制御回路50に入力される。可変光減衰器48は波長多重光信号を所定のレベルに維持するよう制御される。

【0024】自動レベル制御回路50は、ホトダイオード403により波長多重光信号から得られる電気信号を用いて可変光減衰器48を制御し、波長多重光信号の出力レベルを一定に維持する。

【0025】しかし、図2に示す光増幅装置を使用した場合には、波長多重光信号のチャネル数を変更するとき前述のような問題がある。例えば、受信機の好ましいS/N比を得るためには、一般的に、各波長(チャネル)に対して増幅器の光出力パワーを所定のものにする必要がある。全体でNチャネルとすると、波長多重光信号を増幅するための希土類をドープした光ファイバー増幅器の全光出力PcはN×Pに制御される。チャネル数Nに+α又は-αの変更があった場合には、切替え制御により全光パワーは(N±α)Pとなる。個々の波長(チャネル)の光パワーは切替え制御により変化するので、直線性が劣化するか、又は信号対雑音比(S/N)が劣化することになる。

【0026】更に、第一の部分1000による光出力は、第二の部分2000により一定レベルに維持される。従って、第一の部分1000の光出力が所定のレベルを超えると、第二の部分2000は光出力を一定レベルに維持する。その結果、可変光減衰器48を使用することにより、第一の部分1000による増幅のために他の手段が必要になり、光利得を一定レベルに維持するための励起レーザーダイオード44の出力パワーは、入力波長多重光信号のレベル変化に対して指數的に制御する必要がある。従って、比較的大容量の励起レーザーダイオード44を用意する必要がある。

【0027】図3は本発明の実施の形態による光増幅装置の説明図である。光増幅装置は第一の部分1000及び第二の部分2000を含んでいる。第一の部分1000は希土類をドープした光ファイバー(EDF)521、光分岐カプラー541、542、光アイソレータ551、552、光波長多重化カプラー561、ホトダイオード(PD)581、582、励起レーザーダイオード(LD)591、及び自動光利得制御回路(AGC)601を含んでいる。第一の部分1000は波長依存性を維持したまま波長多重光信号を増幅する。

【0028】例として、波長多重光信号は多くの場合、1.5μm帯である。この帯域における光信号の増幅のためにはエルビウムをドープした光ファイバーが知られており、それが希土類をドープした光ファイバー(ED

(6)

特開2000-196169

10

F)521として使用される。又エルビウムをドープした光ファイバーで、1.5μm帯域の波長多重光信号を増幅するためには、0.98μm又は1.48μmの励起帯域の励起光を使用することが知られている。従って、励起レーザーダイオード(LD)591は、例えば、0.98μm又は1.48μmの励起光を出力する構成を採用することになる。

【0029】又図3は、順方向励起構成を示しており、励起レーザーダイオード591により発生される励起光ビームは波長多重光信号と同方向で希土類をドープした光ファイバー521内を伝送される。しかし、逆方向励起構成も同様に使用することが出来る。その場合、レーザーダイオードが励起光ビームを発生し、この励起光ビームは波長多重光信号と反対方向で希土類をドープした光ファイバー521内を伝送される。更に、双方向励起構成も同様に使用することが出来、この場合は、二つのレーザーダイオードが励起光ビームを発生し、この励起光ビームは希土類をドープした光ファイバー521の双方向に伝送される。このように、本発明は方向性励起について何れの形式も適用可能である。

【0030】又第二の部分2000は、電気的に制御される可変光減衰器(ATT)64、自動レベル制御回路(ALC)66、光分岐カプラー543及びホトダイオード(PD)583を含んでいる。この第二の部分2000は、波長依存性を維持することなく波長多重光信号の全光出力を一定レベルに制御している。更に詳しくは、自動レベル制御回路66は、可変光減衰器64の減衰量又は光透過率を変化させることにより、第一の部分1000の出力としての波長多重光信号のパワーを波長多重光信号のチャネル数に対応して一定に維持する。

【0031】又波長多重光信号のチャネル数が変更された場合は、監視信号処理回路70により、可変光減衰器64の光減衰量又は光透過率を一定に維持する。即ち、監視信号処理回路70は一時的に可変光減衰器64の動作を「凍結」(停止)させる。チャネル数が変更された後は、監視信号処理回路70により、可変光減衰器64の減衰量又は光透過率が制御されて、波長多重光信号のパワーは新しいチャネル数に応じた所定の一定レベルに維持される。

【0032】この場合、光増幅装置への波長多重光信号入力は光分岐カプラー681により分岐され、この分岐された光信号はホトダイオード(PD)584に与えられる。ホトダイオード(PD)584は分岐された光信号を電気信号に変換して、この電気信号を監視信号処理回路70に入力する。

【0033】波長多重化光伝送システムに於けるチャネル数の変更を通告する制御信号は、例えば、振幅変調処理により、好ましくは低速信号として波長多重光信号に重畳される。しかし、この制御信号は他の方法によって伝送することも出来る。監視信号処理回路70は、この

11

制御信号を抽出して識別する。そして、監視信号処理回路70は、抽出した制御信号に応じて可変光減衰器64又は自動レベル制御回路66を制御する。振幅変調が行われている場合は、ホトダイオード584により得られる電気信号を復調することによって、制御信号を比較的簡単に抽出することが出来る。

【0034】又制御信号を専用の制御チャンネル(波長)を用いて監視信号処理回路70に送出することも可能である。このような専用の制御チャンネルを使用した場合は、光分岐フィルター(図示を省略)により、主光信号としての波長多重光信号に多重化された制御信号としての光信号を(例えば、光分岐カプラー681により分岐するような構成により)抽出する。例えば、電気信号に変換するために、光分岐フィルターにより抽出された制御チャンネルの光信号をホトダイオード584に入力することにより、制御信号を抽出することが可能である。

【0035】従って、光分岐カプラー681により分岐された波長多重光信号の一部は、ホトダイオード584により電気信号に変換されて監視信号処理回路70に加えられる。この監視信号処理回路70に於いてチャンネル数の変更を通告する制御信号が抽出されて識別されると、監視信号処理回路70は、可変光減衰器64の動作を「凍結」(停止)させる。

【0036】減衰された波長多重光信号のパワーレベルを確実にチャンネル数に一致させるために、監視信号処理回路70はセット電圧(基準電圧)を選択させる。このセット電圧に対応して、パワーレベルはチャンネル数に対応した一定レベルに制御される。この監視信号処理回路70から可変光減衰器64を制御する方法として次のような方法がある。その一つの方法は、図3で制御信号69として示されているように、可変光減衰器64が監視信号処理回路70により直接制御される。もう一つの方法としては、図3の点線で示す制御ライン71を介して、可変光減衰器64が監視信号処理回路70により間接的に制御される。

【0037】チャンネル数の変更の通告の後で、チャンネル数が実際に増減される。この例では、チャンネル数変更の完了を示す制御信号は波長多重光信号に重畳されて伝送される。監視信号処理回路70はこの制御信号を抽出する。又は、制御信号は専用の制御チャンネル(波長)によって監視信号処理回路70に送出することも出来る。この制御信号が抽出されて識別されると、監視信号処理回路70は可変光減衰器64に再び制御動作を行わせて、波長多重光信号のパワーレベルを一定レベルに維持する。

【0038】又チャンネル数変更の完了を示す制御信号により監視信号処理回路70を動作させる代わりに、所定の時間の経過後に、チャンネル数変更完了を推定することができる。詳しく言うと、チャンネル数変更の通告されてから、所定の時間が経過した後でチャンネル数が実際に増

(7)

特開2000-196169

12

減される。この例では、チャンネル数変更の通告をする制御信号が監視信号処理回路70により抽出され、識別された後で、タイマー(図示を省略)が駆動される。このタイマーの設定時間が経過すると、可変光減衰器64は再起動(「凍結」の解除)されて波長多重光信号のパワーレベルを一定レベルに維持する。

【0039】制御信号又は所定時間の経過の何れかによりチャンネル数の変更完了を判定すると、パワーレベルを制御するセット電圧(基準電圧)が加えられ、又はチャンネル数に関する情報に応じて一つのレベルから他のレベルに切り替えられる。この情報はチャンネル数変更を通告する制御信号に含まれているのが好ましい。従って、全光出力パワーを一定レベルに維持する制御を再開することにより、光出力はチャンネル数に対応した一定レベルに維持される。

【0040】従って、チャンネル数の変更に対応して、減衰量を一定のレベルに固定することにより可変光減衰器64は光出力パワーの急激な変化を防ぐことが出来る。この時、第二の部分2000は波長多重光信号のパワーを一定レベルに維持するための動作を行ってはいない。チャンネル数が変更されると、可変光減衰器64は再び制御されて波長多重光信号のパワーを一定レベルに維持する。可変光減衰器64は徐々に駆動されるのでチャンネル数に対応した全出力パワーが維持される。この構成により、光出力の変化を抑制することが可能となり、非線形特性の劣化、S/N比の劣化を避けることが出来る。

【0041】図4の(A)、(B)は、本発明の実施の形態による光信号のチャンネル数Nが変化した場合の光増幅装置の動作を示すグラフである。光信号のチャンネル数Nが例えば4チャンネルから8チャンネルに変更される場合を示し、又可変光減衰器64は自動レベル制御回路66及び監視信号処理回路70により制御される光透過率又は光減衰量を持っている。

【0042】又チャンネル数変更の通告が受信される時刻t1以前は、自動レベル制御回路66により、電気的に制御される可変光減衰器64の光透過率を変化させて可変光減衰器64の出力に実質的に一定の光信号を与えている。従って、時刻t1以前は第二の部分2000が自動レベル制御(ALC)として動作している。

【0043】時刻t1にチャンネル数変更の通告が受信されると、自動レベル制御回路66により電気的に制御される可変光減衰器64の光透過率を実質的に一定に維持する。この場合、可変光減衰器64は、例えば、第一の部分1000、又は、更に光信号を増幅する後段(図示を省略)に与える一定の利得を有しているかのように見える。従って、時刻t1後は、自動レベル制御(ALC)ではなく、自動利得制御(AGC)が行われる。又次の時刻t2に、図4の(A)に示すように、チャンネル数が増加したことによる光パワーが増加し、時刻t3では、チャンネル数の変更の後で、自動レベル制御回路66

は、電気的に制御される可変光減衰器 64 の光透過率を変化させて、可変光減衰器 64 の出力に実質的に一定の光信号パワーを与えている。詳しくは、時刻 t_3 後、第二の部分 2000 は再び自動レベル制御 (ALC) を行う。

【0014】図4の(A)，(B)から判るように、可変光減衰器64は自動レベル制御(ALC)を行う。しかし、チャンネル数の変更時に、自動レベル制御(ALC)を一旦停止する。それによって、チャンネル数の変更時に、可変光減衰器64は一定の光透過率又は減衰量を有することになる。可変光減衰器64の動作は、チャンネル数が図4の(A)，(B)のように時刻 t_1 及び t_3 の間で変化する場合は、「凍結」(停止)する。

【0045】上記のように、時刻 t_1 及び t_3 の間では、可変光減衰器64の出力は、例えば、第一の部分1000又は更に光信号を増幅する後段(図示を省略)に対して一定利得を有している。又は、以下に詳細に述べられる本発明の他の実施の形態に開示されているように、第二の部分2000は構成の変更が可能であり、チャネル数が変更された場合には、一定の利得(自動レベル制御の代わりとして)を与える事が出来る。この場合は、第二の部分2000は利得の制御された増幅器を含み、時刻 t_1 及び t_3 の間で一定の利得を与える事が出来る。

【0046】従って、図4の(A)，(B)に示すように、光増幅装置は、チャネル数を変更できる波長多重光信号を増幅する光増幅器(第一の部分1000等)を含んでいる。この波長多重光信号のチャネル数を変更する前後においては、制御装置(第二の部分2000等)は、制御された光透過率で増幅出力波長多重光信号を通過させて、チャネル数に応じた増幅出力波長多重光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持するレベル制御手段が動作し、波長多重光信号のチャネル数を変更する時は、制御装置は、一定の光透過率に制御して、光信号を通過させるレベル制御手段が動作することになる。

【0047】図5は一定のレベルで光利得を制御するための自動利得制御回路601の説明図である。図3と同一符号は同一部分を示し、自動利得制御回路601は、分割器(DIVIDER)72、演算増幅器74、トランジスタ76及び抵抗R1〜R6を含んでいる。V_{cc}は電源電圧、V_{ref}は基準電圧及びGはアース又はグランド電位である。

【0048】図5に示すように、ホトダイオード(PD)58₁により波長多重光信号の一部を電気信号に変換し、分割器72に加える。ホトダイオード(PD)58₂は、増幅された波長多重光信号の一部を電気信号に変換して分割器72に加える。このようにして、分割器72は希土類をドープした光ファイバー(EDF)52₁の入力と出力との間の比を得ている。演算増幅器74は、基準電圧V_{ref}と、分割器72の入出力光信号レベ

ル差を示す出力信号との差分に応じてトランジスタ76を制御し、励起レーザーダイオード59₁に供給する電流を制御し、励起レーザーダイオード59₁から発生される励起光ビームにより、波長多重光信号の増幅利得を一定としている。図5の自動利得制御回路60₁の構成は自動利得制御回路の多くの構成例の一つに過ぎない。

【0049】図6は一定レベルの光出力を制御するための自動レベル制御回路66の説明図である。図3と同符号は同一部分を示し、自動レベル制御回路66は、抵抗 $R7 \sim R9$ 、演算増幅器78、トランジスタ80、コンデンサ等による周波数特性を切替えるスイッチング回路(CWC)82及び基準電圧回路84を含んでいる。 V_{cc} は電源電圧、 V_{ref} は基準電圧及びGはアース又はグランド電位、CS1及びCS2は監視信号処理回路70より与えられる制御信号である。又制御要素86は、可変光減衰器64の透過率を制御する可変光減衰器64の制御要素である。

【００５０】例えば、可変光減衰器６４が光磁気効果により動作する場合は、制御要素８６はコイルで構成されて、トランジスタ８０を介して電流が供給されて磁界を発生する。又可変光減衰器６４が電気光学効果により動作する場合は、制御要素８６は電極として形成され、この電極にトランジスタ８０を介して印加される電圧が制御される。又半導体光増幅器が可変光減衰器６４の代わりに使用される場合は、半導体光増幅器の利得を制御するバイアス電圧を制御することが出来る。

【0051】可変光減衰器64（図3を参照）からの光信号出力の一部は、光分岐カプラー543により分岐され、ホトダイオード（PD）583により電気信号に変換される。図6において、演算増幅器78は電気信号を制御信号CS1に応じて基準電圧回路84により供給される基準電圧（セット電圧） V_{ref} と比較する。比較の結果得られる電圧差はトランジスタ80の駆動に使用される。制御要素86に供給される電流を制御することにより、可変光減衰器64による減衰量が制御されて光出力は一定レベルに維持される。

【0052】図7はスイッチング回路82の説明図である。図7を参照すると、スイッチング回路82は制御信号CS2により制御されるスイッチSWと、これにより選択されるキャパシタC1及びC2を含んでいる。従って、スイッチング回路82は自動レベル制御回路66の周波数特性を制御する。さらには、スイッチング回路82は、所定の周波数特性による出力波長多重光信号のレベルに従ってトランジスタ80を制御することにより、可変光減衰器64を制御する。監視信号処理回路70からの制御信号CS2は、スイッチング回路82のキャパシタC1及びC2を切替えることにより周波数特性を変化させる。なお、前述の制御信号CS1はチャネル数に応じて基準電圧のレベルを切替える。

【0053】スイッチング回路82は、演算増幅器7

(9)

特開2000-196169

15

8、抵抗R7、R9(図6参照)に接続されて、第一の低周波フィルタを形成する。この第一の低周波フィルタのカットオフ周波数 f_c は以下の式で与えられる。

$$f_c = 1 / (2\pi R9 \cdot C_{swc})$$

ここで、 C_{swc} は、スイッチSWにより選択されたキャパシタC1又はC2を示す。従って、 C_{swc} の値を大きくすることにより、図6の制御回路は低周波特性で動作する。即ち、応答特性は低くなる。

【0054】このスイッチング回路82の選択されたキャパシタC1又はC2の容量に応じて、高周波帯域のフィルタカットオフ周波数が変化する。例えば、好ましい構成は、通常のALC動作で10~100kHzのオーダーのカットオフ周波数は、可変光減衰器64が制御されて一定の減衰量を与える場合には(例えば、チャネル数が変更されたときに一定の利得を与える場合には)、0.01Hzに切替えられる。理想的には、スイッチング回路82の制御は徐々に行われるが、そのためにはスイッチング回路82が簡単な二つのキャパシタの代わりに、多くのキャパシタを使用して構成することができる。

【0055】図6を参照すると、チャネル数の変更が通告される以前は、カットオフ周波数は高く、チャネル数の変更を通告する制御信号が受信されると、スイッチング回路82が制御されてカットオフ周波数は低くなる。従って、可変光減衰器64により与えられる減衰量は平均レベルに固定される。チャネル数の変更が完了すると、スイッチング回路82が制御されてカットオフ周波数は再び高くなる。

【0056】例えば、監視信号処理回路70において、チャネル数の変更を通告する制御信号が抽出され、識別されると、制御信号CS2がスイッチング回路82に供給されて、自動レベル制御回路66の周波数特性は低周波域に切替えられる。その結果、ホトダイオード(PD)583により検出される信号の変化に従って次の動作が遅くなる。即ち、光出力の一定レベル制御は一時的に凍結(停止)される(例えば、可変光減衰器64の光透過率は一定に維持される)。

【0057】又制御信号CS1は光信号に含まれるチャネル数に対応し、監視信号処理回路70は制御信号CS1を基準電圧回路84に供給する。この基準電圧回路84はチャネル数に対応する基準電圧 V_{ref} を供給する。従って、全光出力は、チャネル数の変更後のチャネル数に対応したレベルになる。例えば、基準電圧 V_{ref} は変化するので、 α チャネルが全て最初のNチャネルに加えられると、最終的な全チャネルの光出力は $(N+\alpha) \times P$ となる。

【0058】図6及び図7を参照すると、キャパシタンス C_{swc} の値は可変光減衰器64の動作を停止させるのに十分な値である。一般的には、この目的は、例えば、カットオフ周波数 f_c が10kHzから0.01Hzに

16

低下させる。これは、10,000から100,000の率でカットオフ周波数 f_c を低下させることを示すものである。

【0059】通常は、可変光減衰器64により与えられる減衰量は瞬間、瞬間に変化してALC動作を行って分極の変化を補償している。従って、可変光減衰器64の減衰量を、急に(例えば、チャネル数が変更したときに)あるレベルに固定すると問題が発生する。そこで、減衰量を平均レベルに維持するのが好ましい。

【0060】図8及び図9は本発明のその他の実施の形態による自動レベル制御回路66の説明図である。図8を参照すると、高周波($f_c \sim 10$ kHz)を遮断するキャパシタC及び抵抗Rで構成されるフィルタ90が、スイッチ92とトランジスタ80との間に設けられるので、自動レベル制御の応答速度は適切となる。又94はラッチ回路、95は演算増幅器であり、他の図6と同・符号は同一部分を示す。例えば、代表的な、サブ・ミリ秒のオーダーの時定数は10~100ミリ秒のオーダーの時定数とすることができる。

【0061】カットオフ周波数 f_c が高周波帯域に切替えられると、フィルタの応答特性は速くなるので、分極の変化等の比較的に高速な変化は行われなくなり、可変光減衰器64の出力は一定に維持される。

【0062】又図8においては、ローパスフィルタ($f_c \sim 0.01$ Hz)を有するラッチ回路94が制御要素86の電流の平均レベルに対応する電圧を保持し、演算増幅器95の+端子に入力している。ALC(自動レベル制御)動作中は、制御ループの切替えが行われて、一定レベルの駆動電流を制御する制御ループが駆動される。即ち、制御ループが切替えられると、電流の平均に対応する電圧がラッチ回路94にラッチされて基準電圧となる。ホトダイオード(PD)583に一定レベルで入力される光ビームのレベルを維持するために、バイアス電流が時間により変化するので「平均レベル」という言葉が使われている。更には、通常の制御ループの時定数により決まる時間幅で得られる電圧が、ラッチ回路94にラッチされる。

【0063】又ラッチ回路94は、可変光減衰器64にトランジスタ80を介して流れる電流を、A/D変換器を介して読み取り、D/A変換器を介して演算増幅器95の+端子に入力する構成とすることもできる。

【0064】図9は図6及び図8の組み合わせの構成に相当し、96は時定数回路(τ)である。図9を参照すると、キャパシタンス C_{swc} は、スイッチング回路82により切替えられてカットオフ周波数 f_c を低周波帯域にシフトするので、フィルタの応答特性を遅らせることになる。ラッチ回路94は、モニター値に基いて減衰量を平均値に制御する。

【0065】又図9において、制御ループの切替えは、図6に示す制御に応じて通常の制御ループの時定数が増

50

(10)

特開2000-196169

17

加した後で行われるので、制御ループの切替えの結果のA/LC特性の効果が減少される。

【0066】上記のように、監視信号処理回路70は、チャンネル数変更の通告をする制御信号を受信した後にチャンネル数変更の完了を通知する制御信号を受信する。あるいは、監視信号処理回路70は、チャンネル数変更の通告をする制御信号を受信した後に、チャンネル数変更の完了を通知する制御信号を受信しないシステムとした場合、チャンネル数の変更を通告する制御信号を受信、識別した後に、タイマー（図示されない）が起動され、チャンネル数変更完了予定時刻に、タイマーからタイムアウト野信号が出力される構成とし、チャンネル数変更完了の通知の制御信号を受信した場合と同様の制御を行うことができる。

【0067】チャンネル数変更の完了を通告する制御信号が受信された後、又は所定の時間が経過した後に、制御信号CS2はスイッチング回路82を最初の周波数特性に戻す。これにより、一定の光出力制御が基準電圧回路84によりセットされた新しい基準電圧 V_{ref} に応じて再開される。

【0068】従って、全光出力をチャンネル数に対応する一定レベルに維持するための制御は徐々に再開される。例えば、ホトダイオード(PD)583の出力は特定数回路96を通じて演算増幅器78に入力され、基準電圧 V_{ref} は徐々に変化してチャンネル数に対応したレベルになる。

【0069】上記の構成により、スイッチング回路82による制御の結果として確実に周波数特性は切替えられ、光出力の一定レベルの制御は停止されるので、チャンネル数の変更を通告する制御信号が抽出されて識別された場合に、ホトダイオード(PD)583により信号を受信保持することが可能となる。

【0070】この実施の形態では、保持された値は演算増幅器78に入力され、光出力の一定レベル制御は停止される。なお、光出力の一定レベル制御を停止するためには、他の構成を採用することも可能である。又可変光減衰器64を使用して電氣的に制御可能な光デバイスを構成することが可能な場合には、可変光減衰器64の代わりに半導体光増幅器を使用することが出来る。この半導体光増幅器の波長依存性は少ない。従って、半導体光増幅器を制御することにより、全光出力を一定レベルに制御することが可能である。

【0071】図10は本発明の他の実施の形態の光増幅装置を示し、この光増幅装置は、第一の部分1000、第二の部分2000及び第三の部分3000より構成されている。この第三の部分3000は、希土類をドープした光ファイバー(EDF)522、光分岐カブラー544、光波長多重化カブラー562、光アイソレータ553、554、ホトダイオード(PD)585、励起レーザーダイオード(LD)592、及び自動利得制御

18

回路(AGC)602を含んでいる。又この第三の部分3000は、光分岐カブラー543とホトダイオード(PD)583とを第二の部分2000とで共通に使用している。又図3と同一符号は同一部分を示す。

【0072】第一の部分1000と共に第三の部分3000は、光利得を一定レベルに維持している。更に、第二の部分2000は、第三の部分3000に入力する波長多重光信号のパワーレベルを一定に制御する。その結果、第三の部分3000の光出力パワーレベルも同様に一定のパワーレベルに維持される。光信号レベルが第二の部分2000の可変光減衰器64により減衰された場合でも、第三の部分3000の増幅作用により好ましいレベルの全光出力が得られる。

【0073】これにより、第一の部分の励起レーザーダイオード591及び第三の部分3000の励起レーザーダイオード592の容量はそれぞれ小さくできるから、光増幅装置のコストを低減することが出来る。

【0074】この図10では、第二の部分2000と第三の部分3000は光分岐カブラー543とホトダイオード(PD)583とを共通使用している。これらは、第二の部分2000と第三の部分3000でそれぞれ別個に光分岐カブラー及びホトダイオードを設けることも可能である。

【0075】又自動利得制御回路601及び602は同じ構成とすることが出来る。更に、第一の部分1000及び第三の部分3000の光利得を等しくすることも可能である。又は、利得を、第三の部分3000で利用される伝送用光ファイバーの特性に応じて変化させることも可能である。

【0076】チャンネル数に変更されると、可変光減衰器64による光減衰機能は、監視信号処理回路70又は自動レベル制御回路66を制御している監視信号処理回路70により直接停止される。図3に示す実施の形態と同様にして、チャンネル数の変更に応じた光出力の変化は確実に制限されることにより、非線形特性及びS/N比の劣化が減少する。

【0077】図11は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図10と同一符号は同一部分を示す。図11を参照すると、光増幅装置は、図10に示されるように、第一の部分1000、第二の部分2000及び第三の部分3000を含んでいる。しかし、図11に示す光増幅装置は、第二の部分2000の自動レベル制御回路66を制御し、補正するためのA/LC補正回路98を含んでいる。

【0078】更に詳しく説明すると、可変光減衰器64を介して出力される波長多重光信号の一部は、光分岐カブラー543により分岐されて、ホトダイオード(PD)583により電気信号に変換され、自動レベル制御回路66に入力される。自動レベル制御回路66は可変光減衰器64を制御して、波長多重光信号の全光出力パ

(11)

特開2000-196169

19

20

ワーを一定レベルに維持する。しかし、第三の部分3000の波長多重光信号の光出力パワーは、自動レベル制御回路66には直接入力されない。

【0079】従って、第三の部分3000の波長多重光信号の一部がホトダイオード(PD)585により電気信号に変換され、自動利得制御回路602と同様にA.L.C補正回路98に入力される。A.L.C補正回路98は、全光出力パワーが所定の範囲に維持されているかを判定する。

【0080】若し、全光出力パワーが所定の範囲にない場合には、A.L.C補正回路98は自動レベル制御回路66を制御し、それにより、可変光減衰器64を制御して全光出力パワーを所定の範囲に維持している。可変光減衰器64の代わりに半導体光増幅器が使用されている場合には、自動レベル制御回路66が半導体光増幅器の利得を制御するので、第三の部分3000の全光出力は所定の範囲に維持される。

【0081】図12は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図10及び図11と同一符号は同一部分を示す。図12の光増幅装置は、図10及び図11の光増幅装置を組み合わせたものである。図12を参照すると、チャネル数が変化した場合、監視信号処理回路70は、光出力を一定レベルに制御する第二の部分2000により行われる制御を一時的に停止させるので、光出力の変化が減少する。又A.L.C補正回路98は、自動レベル制御回路66を制御することにより、第三の部分3000の全光出力パワーを所定の範囲に維持する。

【0082】図13は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図10、図11、図12と同一符号は同一部分を示す。図13の光増幅装置は、先に説明した実施の形態と同様に動作するが、光分岐カプラー545、ホトダイオード(PD)586、分散補償光ファイバー(DCF)100、及び分散補償光ファイバー(DCF)損失補正回路102を含んでいる。光分岐カプラー545及びホトダイオード(PD)586は第三の部分3000に含まれている。この第一の部分1000又は第1の部分1000と第二の部分2000とを含めて第1の入力端と第1の出力端とを有する第1の光増幅部、第三の部分3000を第2の入力端と第2の出力端とを有する第2の光増幅部とすると、第1の光増幅部の第1の出力端と、第2の光増幅部の第2の入力端との間に、分散補償光ファイバー100等の光デバイスが接続された構成となり、第1の光増幅部の第1の出力端からの第1の光信号を、光デバイスを介して第2の入力端から第2の光増幅部に入力し、第2の出力端から第2の光信号として出力することができる。

【0083】即ち、光デバイスとしての分散補償光ファイバー100は、第二の部分2000と第三の部分3000との間に接続されている。DCF損失補正回路10

2は自動レベル制御回路66を制御する。長距離且つ大容量波長多重光伝送システムに於いて、伝送用光ファイバーの分散レベル及び波長多重光信号に関して分散補償が必要である。このため、分散補償光ファイバー100が設けられている。

【0084】しかし、分散補償光ファイバーの挿入損失による問題が発生する。詳しく説明すると、分散補償光ファイバーによる損失が変化した場合、波長多重化光ファイバー増幅器を含む中継器(リピーター)の光出力が変化する。従って、分散補償光ファイバー100による損失を測定し、損失を補償するように自動レベル制御回路66をセットすることにより、可変光減衰器64は一定の光出力を与えるように制御される。分散補償光ファイバー100による損失は、分散補償レベルに大いに依存するように見える。従って、自動レベル制御回路66による一定光出力制御によっても、第三の部分3000への波長多重光信号入力のレベルが変更可能である。

【0085】分散補償光ファイバー100から出力され、光分岐カプラー545から分岐された波長多重光信号出力の一部は、ホトダイオード(PD)586により電気信号に変換され、この電気信号は自動利得制御回路602とDCF損失補正回路102とに入力される。DCF損失補正回路102は、分散補償光ファイバー100から出力される波長多重光信号のレベルが所定の範囲にあるかを判定する。レベルが所定範囲内でない場合は、DCF損失補正回路102は補正信号を自動レベル制御回路66に供給する。例えば、光出力の一定制御のための基準電圧(セット電圧)が補正されることにより光出力パワーが所定の範囲になる。これにより、分散補償光ファイバー100を伝送用光ファイバーでの分散を補償するために必要とする場合、その挿入損失の変化が補正され、増幅された波長多重光信号の所定の出力レベルが得られる。

【0086】図14は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図13と同一符号は同一部分を示す。監視信号処理回路70がチャネル数の変更を通告する制御信号を抽出して識別すると、可変光減衰器64の動作を停止させるので(即ち、光透過率又は光減衰量は一定に維持される)、光信号レベルの急激な変化が制限される。DCF損失補正回路102は自動レベル制御回路66を制御して、光デバイスとしての分散補償光ファイバー100による分散補償のレベルに応じて変化する損失を補正する。こうして、第三の部分3000に入力する波長多重光信号のレベルは所定の範囲内に維持される。

【0087】図15は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図14と同一符号は同一部分を示す。光デバイスの一つとしての分散補償光ファイバー100は、伝送用光ファイバーの分散を補償し、DCF損失補正回路102は、分散補償光ファイバー1

(12)

特開2000-196169

21

00による補償レベルに応じた損失の変化を補正し、ALC補正回路98は、自動レベル制御回路66を制御して第三の部分3000の出力波長多重光信号のレベルを所定の範囲に維持する。こうして、波長多重化光伝送システムの波長多重光信号が増幅される。

【0088】図16は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図15と同一符号は同一部分を示す。監視信号処理回路70は、チャネル数の変更を通告する制御信号を抽出し、識別すると、可変光減衰器64又は自動レベル制御回路66を制御して、光出力の一定レベル制御を中止する。この方法では、光出力のレベルは急激に変化することが制限されている。更に、DCF損失補正回路102は自動レベル回路66を制御して、分散補償光ファイバー100による分散レベルに応じた損失変化を補正する。ALC補正回路98は自動レベル制御回路66を制御して、第三の部分3000の出力波長多重光信号を所定のレベルに維持する。

【0089】図17は本発明の実施の形態による図16の光増幅装置の変形例の説明図である。ホトダイオード(PD)582の入力部における光アイソレータ-552の出力と光分岐カプラー542の間に、光フィルターA1が設けられる。又光フィルターA2は、ホトダイオード(PD)585の入力部における光アイソレータ-554の出力側と光分岐カプラー541との間に設けられる。光フィルターA1及びA2は、例えば、米国特許出願No. 08/655,027に開示されており、本発明では、利得の波長依存性を補正するために参照されている。

【0090】図18の(A)は本発明の実施の形態による図17の希土類をドープした光ファイバー(EDF)522の利得対波長特性を示すグラフ、(B)は図17の光フィルターA2の透過率対波長特性を示すグラフ、(C)は図17の希土類をドープした光ファイバー(EDF)522及び光フィルターA2の全体利得を示すグラフである。

【0091】例えば、希土類をドープした光ファイバー(EDF)522は、図18の(A)に示すような波長依存性の利得特性を有しており、又ホトダイオード(PD)585の入力の利得補正用の光フィルターA2が図18の(B)に示す利得特性を有する。この光フィルターA2から光分岐カプラー544により分岐された光信号の一部がホトダイオード585により電気信号に変換されて、自動利得制御回路602とALC補正回路98とに入力され、図18の(C)に示す利得特性を得ることができる。又光フィルターA1及び/又はA2は希土類をドープした光ファイバー(EDF)521及び522の使用に応じて、使用したり、又は省くことが出来る。

【0092】図19は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、前述の各実施の形態と同

22

一符号は同一部分を示す。図19に於いては、第一の部分1000と第二の部分2000との位置が、前述の各実施の形態に対して入れ替わっている。従って、波長多重光信号は、前段の第二の部分2000により一定のパワーレベルを持つように制御され、後段の第一の部分1000により一定の利得を持つように制御される。

【0093】更に詳細に説明すると、入力波長多重光信号は可変光減衰器64に送られる。この可変光減衰器64からの波長多重光信号は、光アイソレータ-551及び光波長多重化カプラー561を介して希土類をドープした光ファイバー521に送られる。この光ファイバー521により増幅された波長多重光信号は、光アイソレータ-552及び光分岐カプラー542を介して出力される。

【0094】光分岐カプラー541により分岐された波長多重光信号の一部は、ホトダイオード581により電気信号に変換され、自動レベル制御回路66及び自動利得制御回路601に送られる。自動レベル制御回路66は、可変光減衰器64による光信号の減衰を制御しているので、波長多重光信号は所定の範囲に制御されたレベルに維持されて第一の部分1000に送出される。

【0095】光分岐カプラー542により分岐された波長多重光信号の一部は、ホトダイオード582により電気信号に変換され、自動利得制御回路601に送られる。この自動利得制御回路601は、励起レーザーダイオード591を制御しているので、希土類をドープした光ファイバー521の入出力波長多重光信号のレベル間の比は一定に保たれる。

【0096】従って、光信号入力が伝送用光ファイバーにより大きく変化した場合でも、第二の部分2000により波長多重光信号のレベルを一定にすることが可能である。その結果、一定のレベルの波長多重光信号を第一の部分1000に入力することが出来る。従って、自動利得制御回路601の制御範囲は小さくなり、構成は相対的に簡素化される。更に、希土類をドープした光ファイバー521の光信号入力のパワーレベルは所定のレベルを超えることがないから、励起レーザーダイオード591から供給される励起レーザービームのレベルを高くする必要はない。即ち、励起レーザーダイオード591の容量は小さくてもよいことになる。

【0097】図20は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図19と同一符号は同一部分を示す。図20に示す光増幅装置は、図19に示す光増幅装置と同様であるが、光分岐カプラー543、ホトダイオード(PD)583、及び監視信号処理回路70を含んでいる。伝送用光ファイバーを通じて供給される波長多重光信号は可変光減衰器64に入力され、光分岐カプラー543により分岐されたその一部はホトダイオード583により電気信号に変換され、監視信号処理回路70に入力される。

23

【0098】チャンネル数の変更を通告する制御信号は、振幅変調により波長多重光信号に重畳されるか又は専用の制御チャンネルにより多重化されて伝送される。チャンネル数の変更を通告する制御信号が抽出されて識別されると、監視信号処理回路70は自動レベル制御回路66を制御して、可変光減衰器64による光信号の減衰量をその時点の値に維持するので(従って、可変光減衰器64の動作を停止させるので)、光出力パワーは一定のレベルには維持されなくなる。

【0099】チャンネル数の変更が完了すると、監視信号処理回路70は可変光減衰器64に制御を再開させて光出力パワーを一定レベルに維持する。この構成により、光信号のパワーレベルが急激に変化するのを少なくするか、避けることが出来る。

【0100】図21は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図20と同一符号は同一部分を示す。図21の光増幅装置は図19の光増幅装置と同様であるが、ALC補正回路90が含まれている。このALC補正回路90は出力波長多重光信号のパワーレベルが所定の範囲にあるか否かを判定する。パワーレベルが所定の範囲にない場合には、ALC補正回路90は自動レベル制御回路66を制御して、可変光減衰器64による光信号の減衰により、出力波長多重光信号が所定範囲のパワーレベルを持つようにする。

【0101】図22は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、図21と同一符号は同一部分を示す。図22に示す光増幅装置は、図20及び図21に示す光増幅装置を組み合わせたものである。図22を参照すると、ALC補正回路90が自動レベル制御回路66を制御することにより、出力波長多重光信号のパワーレベルが所定の範囲に維持される。チャンネル数の変更を通告する制御信号が抽出され、識別されると、監視信号処理回路70は自動レベル制御機能を停止させるので、光出力パワーは一定レベルには維持されない。チャンネル数の変更完了により、自動レベル制御機能を再開させるもので、光出力パワーは、変更されたチャンネル数に対応して一定化される。

【0102】図23は本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図であり、前述の各実施の形態と同一符号は同一部分を示す。図23を参照すると、チャンネル数が変更された場合、一定の減衰量を与えるために可変光減衰器64を制御する(停止させる)代わりに、光増幅器全体をAGCモードに変更する。この変更は可変光減衰器64への入力、又は可変光減衰器64からの出力間の比率を一定レベルに制御することにより達成出来る。この動作は、可変光減衰器64の利得 G ($0 < G < 1$) 又は可変光減衰器64の光透過率を一定に維持することと同じである。

【0103】従って、図23において、スイッチ104が監視信号処理回路70に制御されて自動レベル制御回

(13)

特開2000-196169

24

路66による自動レベル制御と自動利得制御回路603による自動利得制御動作を切替える。更に詳しくは、例えば、図4の(A)に示されるように、監視信号処理回路70は、スイッチ104に対してチャンネル数が変更される前後で自動レベル制御回路66を選択させる。チャンネル数が変更されている間は、監視信号処理回路70はスイッチ104を制御して自動利得制御回路603を選択させる。

【0104】図23においても、監視信号処理回路70に制御されて制御情報を下流側の光中継器等の光装置に伝送するレーザーダイオード(LD)105を備えている。例えば、以下に詳細に説明されるように、このレーザーダイオード(LD)105は監視信号処理回路70により制御されて、制御情報(前述のチャンネル数の変更の通知やチャンネル数の変更完了の通知等の制御信号)を下流側の中継器等の光装置に送出する。

【0105】図24は図23の光増幅装置の一部の詳細図であり、前述の各実施の形態と同一符号は同一部分を示し、60-1、60-2はLOG、60-3~60-5は演算増幅器、R1、Rfは抵抗、66-1、66-2、OPAは演算増幅器を示す。図24を参照すると、以下の動作が行われる。

(1). 通常は(即ち、チャンネル数が変更されていないとき)、スイッチ104は自動レベル制御回路66(ALC P側)を選択しているので、可変光減衰器64からの光出力のパワーレベルは、ホトダイオード583を介してモニターされて、基準電圧 V_{ALC} に対応して一定レベルに維持される。

(2). 監視信号処理回路70がチャンネル数の変更を通告する制御信号を受信すると、自動利得制御回路603の演算増幅器60-3からの利得モニター信号(GM)107が読み込まれて10~100msオーダーの特定数に従った平均利得(減衰量)が決定される。

【0106】(3). 上記(2)で決定した平均利得に対応する基準電圧 V_{AGC} が監視信号処理回路70から自動利得制御回路603の演算増幅器60-5に加えられる。

(4). スwitch104は自動利得制御回路603(AGC P側)を選択する。

(5). 監視信号処理回路70は波長多重光信号に含まれる新規のチャンネル数を示す情報を受信する。

(6). 監視信号処理回路70は新規のチャンネル数に対応する基準電圧 V_{ALC} を自動レベル制御回路66の演算増幅器66-2に加える。

(7). 監視信号処理回路70はチャンネル数の変更が完了したことを示す信号を受信する。または、チャンネル数の変更を通告する信号を受信してから所定の時間が経過して、チャンネル数変更完了を判定する。

(8). スwitch104は自動レベル制御回路66(ALC P側)を選択する。

50

(14)

特開2000-196169

25

【0107】可変光減衰器64による減衰とトランジスタ80による制御装置86の駆動電流の関係は、動作温度等のパラメーターにより決まるが、それらは1対1の関係にある。従って、上記の項目(2)は、モニターされた駆動電流に基いて平均利得(減衰量)を決定するために、駆動電流を(10~100msのオーダーの特定数に関して)モニターする処理(演算増幅器OPAからの電流モニター信号IM)と置き換えることが出来る。可変光減衰器64の制御電流は制御されるので、その平均レベルは一定に維持される。

【0108】図25は本発明の実施の形態による光増幅装置を用いた波長多重光伝送システムの説明図である。108は光送信機(Tx or node)、Tx(SV)は制御信号送信機、110は光受信機(Rx or node)、112は光増幅器(OAMP)、114は主信号制御部、116は監視信号処理部である。光増幅器(OAMP)112は主光信号(波長多重光信号)とそれに重畳された制御光信号とを増幅する。主信号制御部114及び監視信号処理部116は、光増幅器112を制御して、主光信号と制御光信号とを所望のレベルに増幅して受信側へ送出する。そして、受信側の光受信機110により主光信号を受信処理し、制御信号受信機Rx(SV)により制御光信号を受信処理する。

【0109】図26は、図25の光増幅器112、主信号制御部114、及び監視信号処理部116を含む光増幅装置の構成を示す。図26の光増幅装置は、図3と同様な構成であるが、監視用の制御光信号を、送信側から受信側に向かう下流側に送信するためのレーザーダイオード(LD)105を含んでいる。さらに詳しくは、監視信号処理回路70は、チャンネル数変更等に伴う可変光減衰器64の減衰量又は光透過率が何時一定に維持されるか、又は「凍結」されるかを示す情報を、レーザーダイオード(LD)105により制御光信号に変換し、主光信号に多重化して伝送ラインに送出する。

【0110】図27は本発明の実施の形態による複数の光増幅装置を用いた波長多重光伝送システムを示し、この波長多重光伝送システムは、送信機(Tx)120、波長多重化光ファイバー増幅器/中継器(OAMP)122及び受信機(Rx)124を含んでいる。又SVTx、SVRxは制御光信号の送信部及び受信部を示し、監視信号処理回路等の関連構成は図示を省略している。又矢印UPSは上流方向、DNSは下流方向を示す。チャンネル数が変更されると、システム内の上流側(又は下流側)ラインのすべてのOAMP122は一定の光利得制御動作にセットされる。

【0111】各送信機Tx120内に設けられる波長多重光後置増幅器(図示されない)及び各受信機Rx124内に設けられる波長多重光前置増幅器(図示されない)は共に一定利得制御動作に制御される。前述の光増幅装置を備えた全てのOAMP122が一定利得制御状

26

態に制御された場合は、受信機(Rx)124内の光受信装置に入力される光信号パワーは変化することがある。

【0112】図25から図27に示される光増幅装置を有する波長多重光伝送システムに於いて、伝送ライン上の受信機(Rx)により管理される伝送路内の全ての光ファイバー増幅器がその減衰量を一定レベルに固定し、光利得を一定レベルに維持するか否かを決定する事が可能である。全ての光ファイバー増幅器が一度その光利得を一定レベルに維持すると決められた場合には、それを示す情報が逆方向の伝送路を通じて送信機(Tx)に送られ、チャンネル数の変更が開始される。

【0113】以下は、チャンネル数の変更処理のための図25~図27に示す光増幅装置を有する波長多重光伝送システムの動作フローの一例である。

(1)、チャンネル数の変更を通告する制御信号は上流側SV送信部(SVTx)から送出される。

(2)、各OAMPの監視信号処理回路70はチャンネル数の変更を通告する制御信号を受信する。

(3)、各OAMPは関連する可変光減衰器の「凍結」動作を開始する。

(4)、各OAMPは関連する可変光減衰器の「凍結」動作を完了して、モニター信号にその情報を乗せて伝送することにより(個々のOAMPを識別するための識別番号も同様にモニター信号に挿入される)、一定の光利得制御が開始されたことを示す情報を下流側に送出する。

【0114】(5)、上流側のSV受信部(SVRx)は、全ての上流側のOAMPは一定の光利得状態にあることを認識する。

(6)、下流側のSV送信部(SVTx)は、全ての上流側のOAMPは一定の光利得状態にあることを通知する。

(7)、下流側のSV受信部(SVRx)は、全ての上流側のOAMPは一定の光利得状態にあることを認識する。

(8)、上流側の送信機(Tx)は実際にチャンネル数を変更する。

(9)、上流側のSV送信部(SVTx)は、チャンネル数の変更が完了したことを示す情報を発生する。

【0115】(10)、各OAMPの監視信号処理回路70はチャンネル数の変更が完了したことを示す情報を受信する。

(11)、各OAMPは関連する可変光減衰器の動作を凍結するための凍結動作を中止させ、光出力を一定に保つ制御を進める。

(12)、各OAMPは、モニター信号の形で、光出力を一定に保つ制御への移行が完了したことを示す情報を下流側に送出する(個々のOAMPを識別する識別番号も同様に送出される)。

50

(15)

特開2000-196169

27

(13)．上流側のSV受信部(SVRx)は、全てのOAMPがチャンネル数の変更処理を行ったことを示す情報を受信する。

(14)．全てのOAMPがチャンネル数の変更処理を行ったことを示す情報は送信機に送出される。

【0116】図28は上記の動作フローを示すタイミング図である。(a)はチャンネル数2ch, 4ch, 8ch等のチャンネル数変更を通告するチャンネル数情報。

(b)は動作中のチャンネル数情報、(c)はA1C参照信号、(d)はALCロック信号、(e)は状態信号、

(f)はALC補正動作のON, OFF、(g)は全光パワー、(h)はチャンネル対応の光パワーを示し、このチャンネル対応の光パワーは、予め設定したレベル(PRESET LEVEL)を維持する場合を示す。

【0117】従って、チャンネル数変更の処理においては、光増幅装置は一時的に自動レベル制御機能(ALC)を実行するのを中止(FREEZE)して、代わりに一定利得機能を行うか、又は光増幅装置全体で一定利得機能を実行させる。しかし、波長多重光伝送システムにおいては、通常は光受信装置に供給される光信号のパワーを一定レベルに維持する必要がある。分極の変化による入力パワーの変化は従来の状況下で生ずるが、光増幅装置の光利得を一定レベルに維持するように制御すると、光受信装置に供給される光信号のパワーは変化する。

【0118】この問題は、波長多重光信号を個々のチャンネルに多重分離し、個々の多重分離したチャンネル毎の光パワーレベルを制御することにより解決できる。図29は本発明の実施の形態による波長多重光伝送システムの要部の説明図である。この図29を参照すると、多重分離装置(DEMUX)125は、波長多重光信号を多重分離して受信機126にそれぞれ入力する。その時、光前置増幅器127及び自動レベル制御ユニット128は、チャンネル対応に設けられているので、チャンネル対応の受信機126は一定のパワーレベルで光信号を受信できるように制御することができる。

【0119】本発明の上記実施の形態によれば、可変光減衰器又は光増幅器は、波長多重光信号のチャンネル数が変更される際に、一定の利得を得るように制御可能である。この場合、利得Gは $0 < G < 1$ の範囲にある。このように、可変光減衰器の入力及び出力間の比を一定に維持することにより、一定の利得を与えるように可変光減衰器を制御することが出来る。

【0120】又本発明の実施の形態によると、光増幅器内に希土類をドープした光ファイバーが用いられている。この場合、ドープ材はエルビウム(Er)である。しかし、本発明はエルビウム(Er)がドープされた光ファイバーに限定されるものではない。代わりに、波長に応じて、他の希土類をドープした光ファイバー、例えば、ネオジウム(Nd)をドープした光ファイバー

28

又はプラセオジウム(Pd)をドープした光ファイバー等を使用することが出来る。さらに、例えば、ここに開示された種々のホトダイオードは光トランジスタに代えることも出来る。

【0121】上記の本発明の実施の形態によれば、自動利得制御回路及び自動レベル制御回路の特定の実施の形態が開示される。しかし、本発明はここに開示されているこれらの回路又は他の回路の特定の回路構成に限定されるものではなく、他の多くの異なる回路構成を使用することも可能である。さらに、本発明の上記の実施の形態によれば、光減衰機能を用いて光信号に対する減衰量を可変としている。この可変光減衰器についても、既に知られている各種の構成の可変光減衰器を適用することが可能である。

【0122】本発明の幾つかの実施の形態が示され、説明されているが、この分野の専門知識を有するものにとつては、特許請求の範囲に述べられている本発明の原理及び精神から逸脱することなく様々な変更が可能であることは明白である。

【0123】以下前述の実施の形態をまとめて列記する。(1)可変チャンネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、光信号のチャンネル数の変化に対応して増幅された光信号のパワーレベルを制御する制御装置とを含む光増幅装置。

(2)光信号のチャンネル数を変更する前後においては、制御装置は光透過率を変化させて増幅した光信号を通過させ、そのパワーレベルを光信号のチャンネル数に応じてほぼ一定のレベルに維持させ、光信号のチャンネル数が変更された場合は、制御装置は増幅した光信号を一定の光透過率で通過させて増幅した光信号のパワーレベルを制御する構成を有する光増幅装置。

(3)光信号のチャンネル数を変更する前後においては、制御装置は光信号のチャンネル数に応じて増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持し、光信号のチャンネル数が変更された場合は、制御装置は増幅された光信号をほぼ一定の利得で増幅する光増幅装置。

【0124】(4)可変チャンネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、光信号のチャンネル数を変更する前後においては、光透過率を変化させて増幅した光信号を通過させ、そのパワーレベルを光信号のチャンネル数に応じてほぼ一定のレベルに維持させ、光信号のチャンネル数が変更された場合は、増幅した光信号を一定の光透過率で通過させる制御装置とを含む光増幅装置。

(5)光信号のチャンネル数を変更する前は、制御装置は光透過率を変化させて増幅した光信号を通過させて、そのパワーレベルをチャンネル数を変更する前の光信号のチャンネル数に応じたレベルに維持させ、光信号のチャンネル数を変更した後は、制御装置は光透過率を変化させて増幅した光信号を通過させて、そのパワーレベルをチャンネル数を変更した後の光信号のチャンネル数に応じたレベル

29

に維持させる構成を有する光増幅装置。

(6) 光増幅器は一定利得で光信号を増幅する希土類をドープした光ファイバー増幅器とした光増幅装置。

【0125】(7) 制御装置は、増幅した光信号を通過させ、可変光透過率を有する光減衰器と、光信号のチャネル数を変更する前後において、光減衰器の光透過率を変化させて光信号のチャネル数に応じて増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを含む構成を有する光増幅装置。

(8) 制御装置は、変更又は一定に維持可能な光透過率を有する光減衰器を含む構成を有する光増幅装置。

(9) 制御装置は、光信号のチャネル数が何時変更されるかを示す通告信号を受信し、その通告信号を受信すると、増幅した光信号を一定の光透過率で通過させはじめ、チャネル数の変更が完了するまでは、増幅した光信号を一定の光透過率で継続的に通過させる構成を有する光増幅装置。

【0126】(10) 通告信号が光信号に含まれており、制御装置は光信号から通告信号を抽出する構成を有する光増幅装置。

(11) 光信号のチャネル数を変更する前後においては、制御装置は光の透過率を変化させて、増幅した光信号を通過させ、その増幅した光信号のパワーレベルを所定の範囲に維持させる構成を有する光増幅装置。

(12) 増幅した光信号を伝送する分散補償光ファイバー(DCF)を含み、制御装置は、分散補償光ファイバー(DCF)による損失変化を検出し、検出された損失変化を補償するために、増幅した光信号のパワーレベルを制御する構成を有する光増幅装置。

【0127】(13) 増幅した光信号を伝送する分散補償光ファイバー(DCF)、及び損失変化を検出し、光減衰器の光透過率を制御して検出した変化を補償するようにした損失補償回路を有する光増幅装置。

(14) 損失補償回路は、光減衰器の光透過率を制御して増幅した光信号のパワーレベルを所定の範囲に維持する構成を有する光増幅装置。

(15) 光信号のチャネル数が変更された場合に、制御装置は、一定の光透過率で増幅した光信号を所定の時間だけ通過させ、所定の時間が経過した後で変更した光透過率で増幅した光信号を通過させはじめの構成を有する光増幅装置。

【0128】(16) 制御装置は、光信号のチャネル数の変更が何時完了するかを示す完了信号を受信し、その完了信号を受信すると、変更した光透過率で増幅した光信号を通過させはじめ、増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持する構成を有する光増幅装置。

(17) 光信号のチャネル数が変更された後に、変更した光透過率で増幅した光信号を通過させはじめた後で、制御装置は完了信号を下流方向に伝送させて、チャネル

(16)

特開2000-196169

30

数の変更に応じて制御装置が制御動作を完了したことを示す構成を有する光増幅装置。

(18) 制御装置は、何時光信号のチャネル数が変更されるかを示し、又何時増幅した光信号を一定の光透過率で通過させるかを示す通告信号を受信し、通告信号が下流側に送出されることにより下流側光増幅器の各々の出力を制御する構成を有する光増幅装置。

【0129】(19) 複数の光増幅器を含み、各光増幅器に対しては識別信号を下流方向に送出して光増幅器を識別する構成を有する光増幅装置。

(20) 制御装置は、光信号のチャネル数の変更の後の変更した光透過率によって、増幅した光信号を通過させ始めた後に、完了信号を下流側に送信し、チャネル数の変更に対応して制御が完了したことを示す構成を有する光増幅装置。

(21) 各光増幅器に対して、識別信号を下流側に送出して光増幅器を識別する構成を有する光増幅装置。

【0130】(22) 光信号のチャネル数が変更された場合に、制御装置は、所定の時間だけ一定の光透過率で増幅した光信号を通過させ、所定の時間が経過した後では、変更した光透過率で増幅した光信号を通過させ始める構成を有する光増幅装置。

(23) 各光増幅器に対して、識別信号を下流側に送出してそれぞれの光増幅器を識別する構成を有する光増幅装置。

(24) 光信号のチャネル数が変更された場合に、制御装置は、所定の時間だけ一定の光透過率で、増幅した光信号を通過させ、所定の時間が経過した後では、変更した光透過率で、増幅した光信号を通過させ始める構成を有する光増幅装置。

【0131】(25) 光信号のチャネル数が変更された場合に、制御装置は、所定の時間だけ一定の光透過率で、増幅した光信号を通過させ、所定の時間が経過した後では、変更した光透過率で、増幅した光信号を通過させ始める構成を有する光増幅装置。

(26) 複数の光増幅器を含み、各光増幅器に対して、識別信号を下流側に送出してそれぞれの光増幅器を識別する構成を有する光増幅装置。

(27) 制御装置を通過した後の光信号を個々の信号に多重分離するデマルチプレクサー(多重分離装置)、及びそれぞれ個々の信号のパワーレベルを制御して、制御装置が一定の光透過率で増幅した光信号を通過させた場合に、個々の信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを有する光増幅装置。

【0132】(28) 制御装置を通過した後の光信号を光信号のチャネル数にそれぞれ対応する個々の信号に多重分離するデマルチプレクサーと、個々の信号にそれぞれ対応し対応する個々の信号を受信する受信器、及び対応する受信器に受信される前にそれぞれの信号のパワーレベルを制御して、制御装置が増幅した光信号を一定の

50

31

光透過率で通過させた場合の個々の信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを有する光増幅装置。

(29) 可変チャネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、光信号のチャネル数の変更に対応して増幅された光信号を制御する制御装置と、制御され且つ増幅された光信号をチャネル対応の光信号に多重分離するデマルチプレクサーと、それぞれチャネル対応の光信号のパワーレベルを制御して、個々の光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットとを含む構成を有する光増幅装置。

(30) 光信号のパワーレベルをほぼ一定に保ち、対応する出力光信号を生成する自動レベル制御ユニットと、一定の利得で自動レベル制御ユニットの出力光信号を増幅する光ファイバー増幅器とを含む構成を有する光増幅装置。

【0133】 (31) 光信号のチャネル数が変更される前後では、変更した光透過率で、光ファイバーの増幅器の増幅された出力光信号を通過させて、光信号のチャネル数に対応して増幅された出力光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持し、光信号のチャネル数が変更された場合は、一定の光透過率で光ファイバー増幅器の出力光信号を通過させる制御装置を含む光増幅装置。

(32) 光信号のチャネル数が変更される前後では、制御装置は光ファイバー増幅器の増幅された出力光信号を通過させて、増幅された出力光信号のパワーレベルを所定の範囲に維持する構成を有する光増幅装置。

(33) 制御装置は、何時光信号のチャネル数が変更されるかを示し、又何時増幅した光信号を一定の光透過率で通過させるかを示す通告信号を受信する構成を有する光増幅装置。

【0134】 (34) 制御装置は、何時光信号のチャネル数が変更されるかを示す完了信号を受信し、この完了信号により何時増幅した出力光信号を、変更した光透過率で通過させるかを定めるもので、複数の下流側光増幅器を含み、完了信号を下流側に送出されることにより下流側光増幅器の各々の出力を制御する構成を有する光増幅装置。

(35) 制御装置は、光信号のチャネル数の変更の後の変更した光透過率で、増幅した光信号を通過させ始めた後に、完了信号を下流側に送信し、チャネル数の変更に対応して制御が完了したことを示す構成を有する光増幅装置。

(36) 制御装置は、光信号のチャネル数の変更の後の変更した光透過率で、増幅した光信号を通過させ始めた後に、完了信号を下流側に送信し、チャネル数の変更に対応して制御が完了したことを示す構成を有する光増幅装置。

【0135】 (37) 光信号のチャネル数が変更された場合に、制御装置は所定の時間だけ一定の光透過率で増

(17)

特開2000-196169

32

幅した光信号を通過させ、所定の時間が経過した後は、変更した光透過率で増幅した光信号を通過させ始める構成を有する光増幅装置。

(38) 光信号のチャネル数が変更された場合に、制御装置は所定の時間だけ一定の光透過率で増幅した光信号を通過させ、所定の時間が経過した後は、変更した光透過率で増幅した光信号を通過させ始める構成を有する光増幅装置。

(39) 光信号のチャネル数が変更された場合に、制御装置は所定の時間だけ一定の光透過率で増幅した光信号を通過させ、所定の時間が経過した後は、変更した光透過率で増幅した光信号を通過させ始める構成を有する光増幅装置。

【0136】 (40) 光信号のチャネル数が変更された場合に、制御装置は所定の時間だけ一定の光透過率で増幅した光信号を通過させ、所定の時間が経過した後は、変更した光透過率で増幅した光信号を通過させ始める構成を有する光増幅装置。

(41) 複数の光増幅器を含み、各光増幅器に対して、識別信号を下流側に送出してそれぞれの光増幅器を識別する構成を有する光増幅装置。

(42) 複数の光増幅器を含み、各光増幅器に対して、識別信号を下流側に送出してそれぞれの光増幅器を識別する構成を有する光増幅装置。

【0137】 (43) 複数の光増幅器を含み、各光増幅器に対して、識別信号を下流側に送出してそれぞれの光増幅器を識別する構成を有する光増幅装置。

(44) 複数の光増幅器を含み、各光増幅器に対して、識別信号を下流側に送出してそれぞれの光増幅器を識別する構成を有する光増幅装置。

(45) 可変チャネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、光信号のチャネル数を変更する前後においては、光信号のチャネル数に応じて増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持し、光信号のチャネル数が変更された場合は、増幅した光信号をほぼ一定の利得で増幅する制御装置とを含む構成を有する光増幅装置。

【0138】 (46) 制御装置は、増幅した光信号を通過させ、可変光透過率を有する光減衰器、及び光信号のチャネル数を変更する前後において、光減衰器の光透過率を変化させて光信号のチャネル数に応じて、増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを含む構成を有する光増幅装置。

(47) 光信号のチャネル数が変更された場合は、自動レベル制御ユニットは光減衰器の光透過率を一定に維持する構成を有する光増幅装置。

(48) 制御装置は、増幅した光信号をさらに増幅する光増幅器、及び光信号のチャネル数を変更する前後において、制御装置の光増幅器の利得を変化させて、光信号のチャネル数に応じて、制御装置の光増幅器で増幅された

33

光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを含む構成を有する光増幅装置。

【0139】(49) 制御装置は、光信号のチャンネル数が何時変更されるかを示す通告信号を受信し、その通告信号を受信すると、増幅した光信号をほぼ一定の利得で増幅し始め、チャンネル数の変更が完了するまで増幅した光信号をほぼ一定の利得で継続的に増幅する構成を有する光増幅装置。

(50) 通告信号が光信号に含まれており、制御装置は光信号から通告信号を抽出する構成を有する光増幅装置。

(51) 増幅した光信号を伝送する分散補償光ファイバー(DCF)を含み、制御装置は分散補償光ファイバー(DCF)による損失変化を検出し、増幅した光信号のパワーレベルを制御して検出した変化を補償する構成を有する光増幅装置。

【0140】(52) 光信号のチャンネル数が変更された場合に、制御装置は増幅した光信号を所定の時間だけほぼ一定の利得で増幅し、所定の時間が経過した後で増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持し始める構成を有する光増幅装置。

(53) 制御装置は、光信号のチャンネル数の変更が何時完了するかを示す完了信号を受信する構成を有する光増幅装置。

(54) 光信号のチャンネル数が変更された後に、増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定のレベルに維持しはじめた後で、制御装置は完了信号を下流方向に伝送させて、チャンネル数の変更に応じて制御装置が制御動作を完了したことを示す構成を有する光増幅装置。

【0141】(55) 制御装置からの光信号を個々の信号に多重分離するデマルチプレクサー、及びチャンネル対応の光信号のパワーレベルを制御して、制御装置が増幅した光信号をほぼ一定の利得で増幅した場合のチャンネル対応の光信号のパワーレベルをほぼ一定に維持する自動レベル制御ユニットを含む構成を有する光増幅装置。

(56) 可変チャンネル数を有する光信号を増幅する光増幅器と、増幅した光信号を通過させ、可変光透過率を有する光減衰器と、光信号のチャンネル数が変更される前は、光減衰器の光透過率を変化させて、増幅した光信号のパワーレベルをチャンネル数が変更される前の光信号のチャンネル数に応じたほぼ一定のレベルに維持し、光信号のチャンネル数が変更された時は、光減衰器の光透過率を一定に維持し、光信号のチャンネル数が変更された後では、光減衰器の光透過率を変化させて、増幅した光信号のパワーレベルをチャンネル数が変更された後の光信号のチャンネル数に応じたほぼ一定のレベルに維持する制御装置とを含む構成を有する光増幅装置。

【0142】(57) 可変チャンネル数を有し、光増幅器により増幅される光信号を制御するための方法であって、光信号のチャンネル数を変更する前後において、変

(18)

特開2000-196169

34

更した光透過率で増幅した光信号を通過させて、増幅した光信号のパワーレベルを光信号のチャンネル数に応じてほぼ一定のレベルに維持し、光信号のチャンネル数が変更された時は、一定の光透過率で増幅した光信号を通過させる過程を含む光増幅装置の制御方法。

(58) 可変チャンネル数を有し、光増幅器により増幅される光信号を制御するための方法であって、光信号のチャンネル数を変更する前後においては、光信号のチャンネル数に応じて、増幅した光信号のパワーレベルをほぼ一定レベルに維持し、光信号のチャンネル数が変更された時は、増幅された光信号をほぼ一定の利得で増幅する過程を含む光増幅装置の制御方法。

【0143】

【発明の効果】以上説明したように、本発明は、可変チャンネル数の波長多重光信号を増幅する光ファイバー増幅器等の光増幅器と、チャンネル数の変更時の光信号のパワーレベルを制御する制御装置とを含み、制御装置は、チャンネル数の変更前後では、チャンネル数に対応した所定の一定レベルとなるように制御し、チャンネル数変更時は、利得一定制御により、チャンネル数に対応したレベルに変化可能に制御する構成を有し、波長多重光信号としてのチャンネル数変更における直線性の劣化及びS/Nの劣化を回避し、安定な波長多重光信号の増幅を可能とすることができる利点がある。

【0144】又光デバイスとしての分散補償光ファイバーによる損失を補償する構成とし、分散補償光ファイバーの特性のばらつきを補正して、安定な分散補償を可能とすることができる利点がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】波長多重光伝送システムの説明図である。

【図2】波長多重光伝送システムの光増幅装置の説明図である。

【図3】本発明の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図4】本発明の実施の形態による光信号のチャンネル数Nが変化した場合の光増幅装置の動作を示すグラフである。

【図5】本発明の実施の形態による自動利得制御回路の説明図である。

【図6】本発明の実施の形態による自動レベル制御回路の説明図である。

【図7】本発明の実施の形態による自動レベル制御回路のスイッチング回路の説明図である。

【図8】本発明の他の実施の形態による自動レベル制御回路の説明図である。

【図9】本発明の他の実施の形態による自動レベル制御回路の説明図である。

【図10】本発明の他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図11】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装

(19)

特開2000-196169

35

36

置の説明図である。

【図12】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図13】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図14】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図15】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図16】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図17】本発明の実施の形態による図16に示した光増幅装置の変更例の説明図である。

【図18】本発明の実施の形態による光増幅装置における希土類をドープした光ファイバー（EDF）の利得・波長特性、光フィルターの光透過率及び光フィルターの総合利得の説明図である。

【図19】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図20】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図21】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図22】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置の説明図である。

【図23】本発明の更に他の実施の形態による光増幅装置

置の説明図である。

【図24】本発明の実施の形態による図23に示す光増幅装置の一部の詳細図である。

【図25】本発明の実施の形態による光増幅装置を用いた波長多重光伝送システムの説明図である。

【図26】本発明の実施の形態による図25に示す光増幅装置を示す詳細図である。

【図27】本発明の実施の形態による複数の光増幅装置を用いた波長多重光伝送システムの説明図である。

【図28】本発明の実施の形態による光増幅装置の動作を示すタイミング図である。

【図29】本発明の実施の形態による波長多重光伝送システムの要部の説明図である。

【符号の説明】

1000 第一の部分

2000 第二の部分

521 希土類ドープ光ファイバー

541～543 光分岐カプラー

551, 552 光アイソレータ

561 光波長多重化カプラー

581～584 ホトダイオード（PID）

591 励起レーザーダイオード（LD）

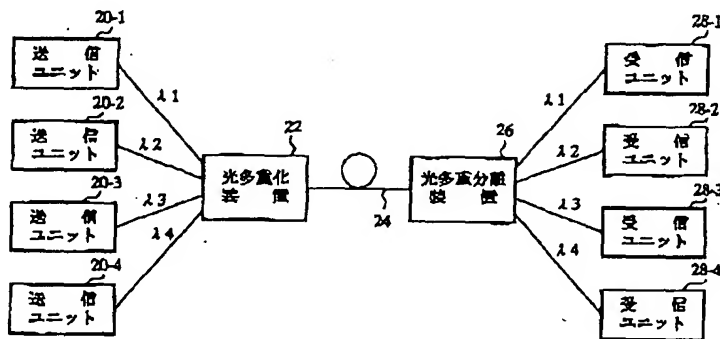
601 自動光利得制御回路（AGC）

64 可変光減衰器（ATT）

66 自動レベル制御回路（ALC）

70 監視信号処理回路

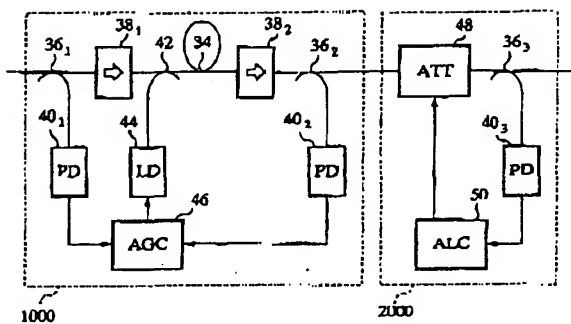
【図1】



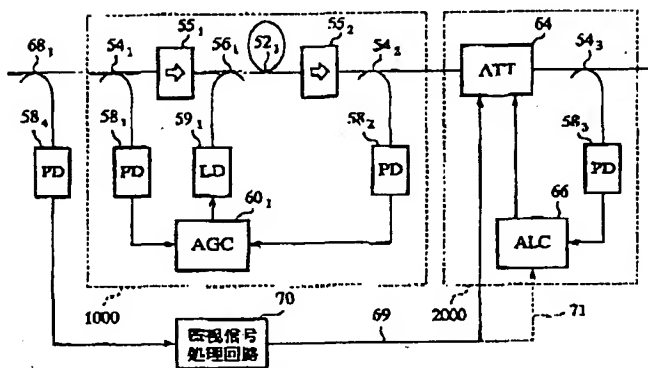
(20)

特開2000-196169

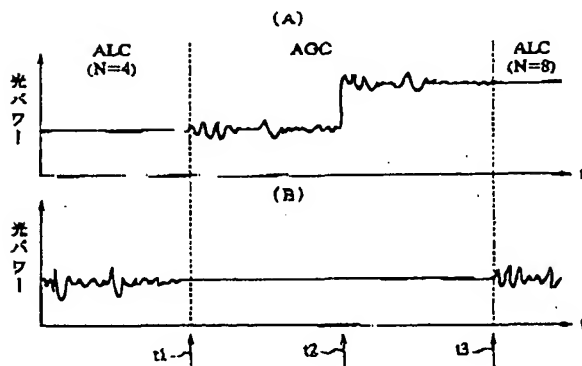
【図2】



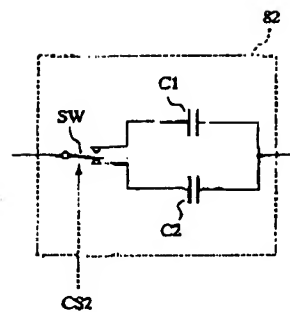
【図3】



【図4】



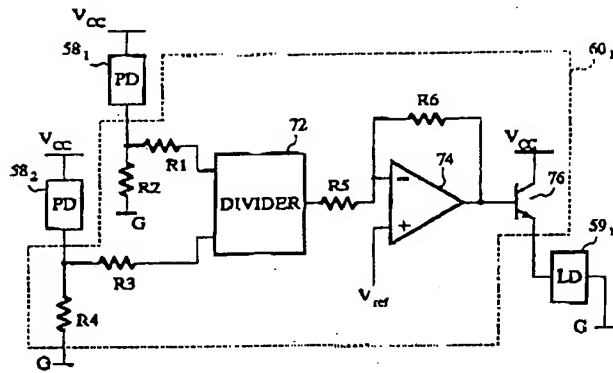
【図7】



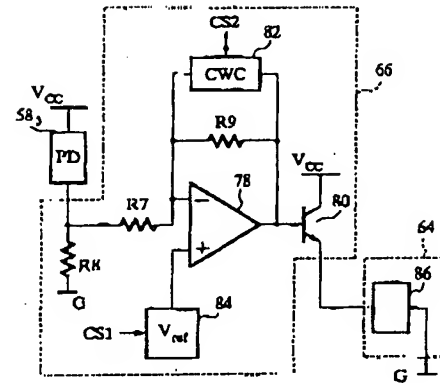
(21)

特開2000-196169

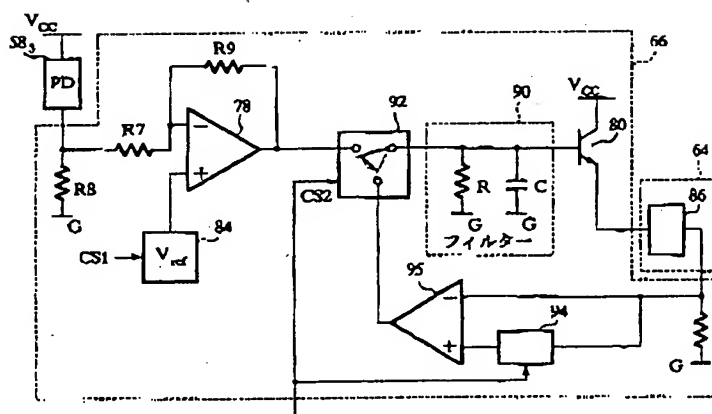
【図5】



【図6】



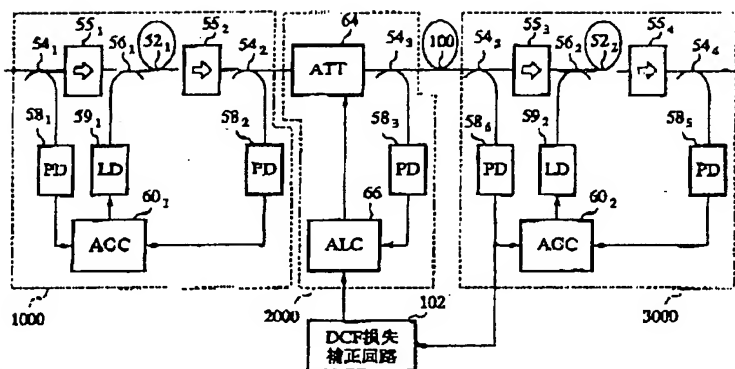
【図8】



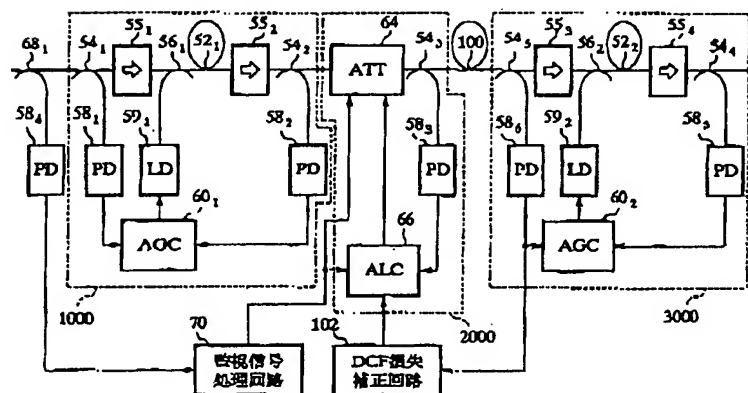
(24)

特開2000-196169

【圖 13】



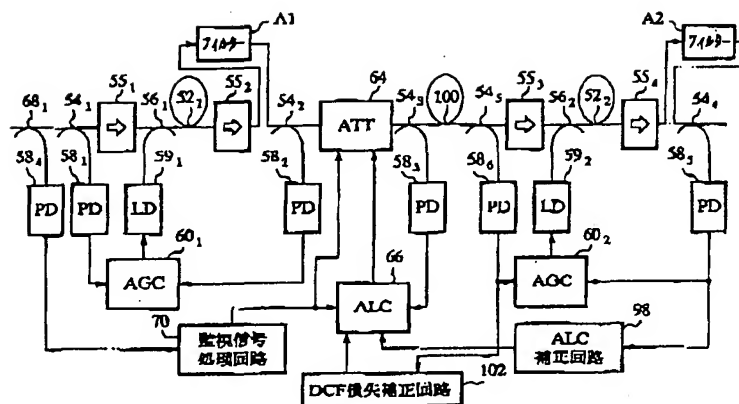
【例 14】



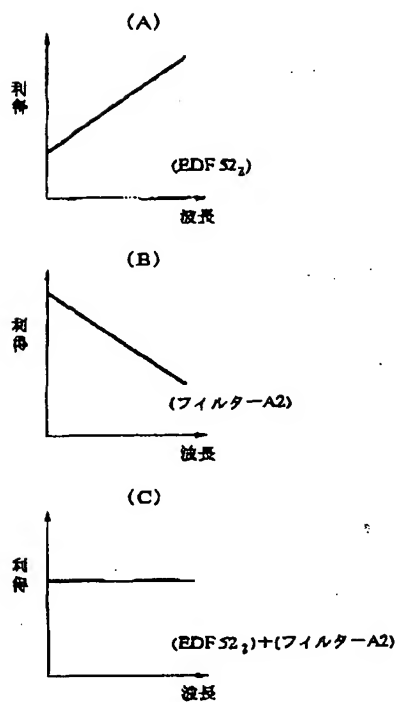
(26)

特開2000-196169

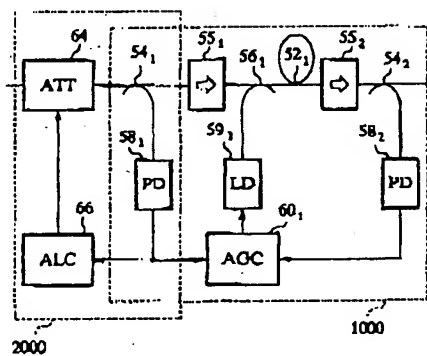
【図17】



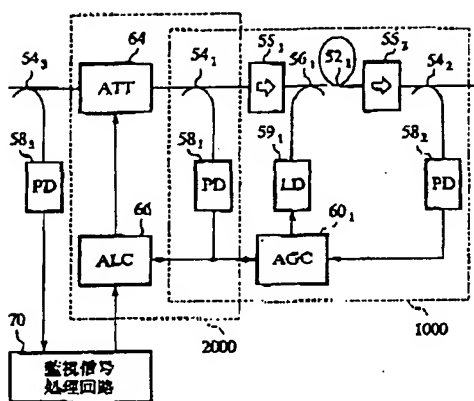
【図18】



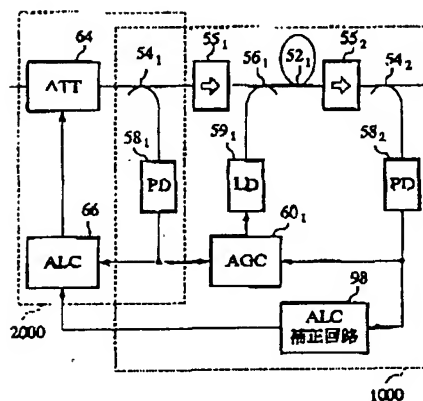
【図19】



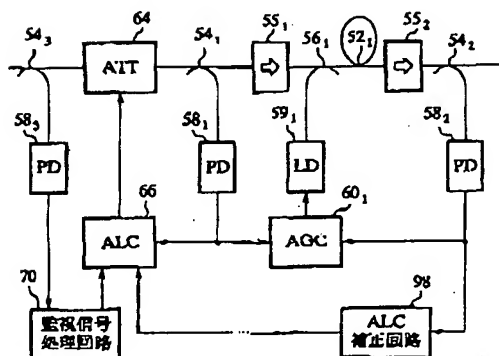
【图 20】



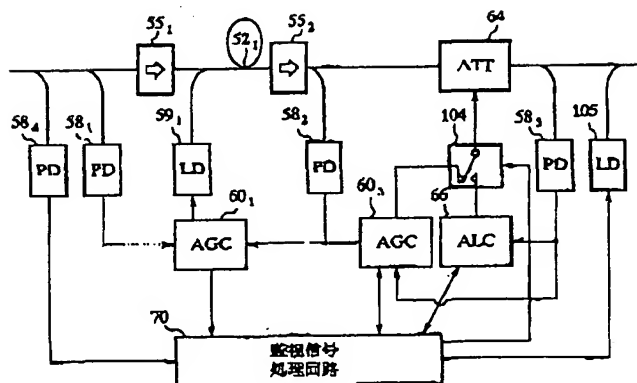
【圖 21】



【例 2 2】



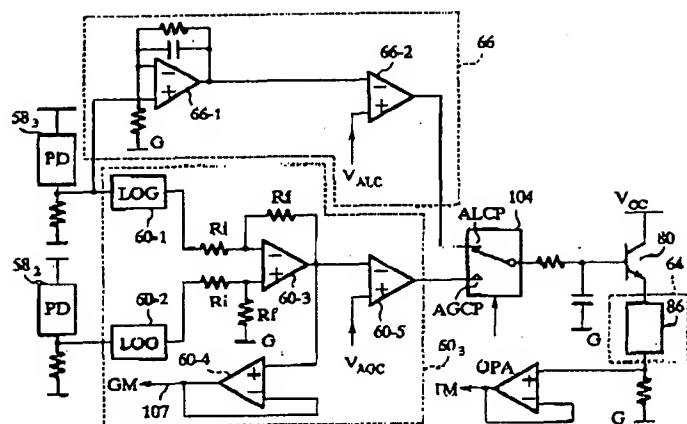
【图 2 3】



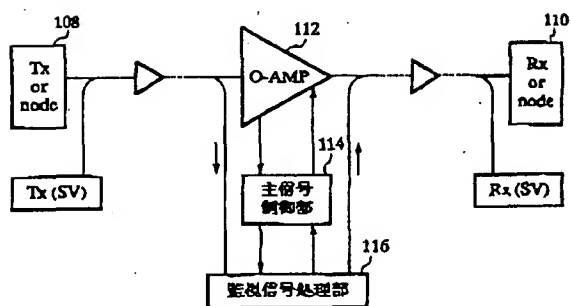
(28)

特用2000-196169

【例 24】



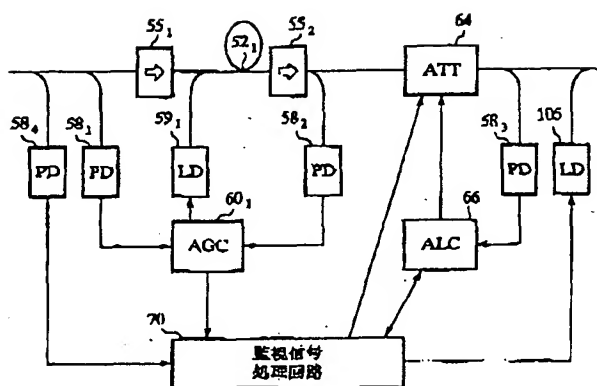
【[2] 2 5】



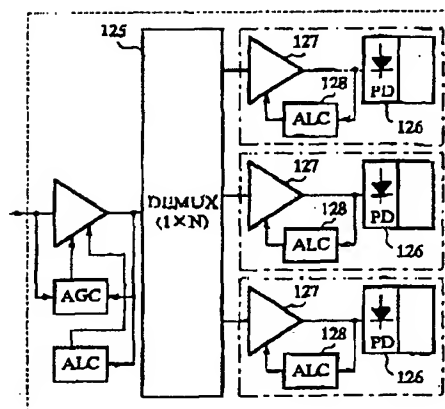
(29)

特開2000-196169

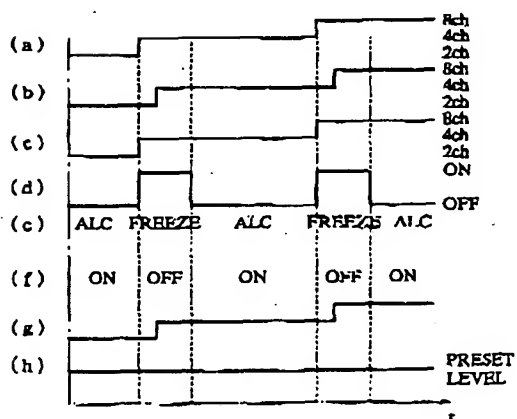
【図26】



【図29】



【図28】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.⁷

H04B 10/06

10/04

識別記号

FI

テマート(参考)